



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

PROJECTE DE FINAL DE GRAU EN ENGINYERIA MECÀNICA

Estudi d'un motlle d'injecció utilitzant tecnologies per controlar el component intern del plàstic

MAIG DE 2019

Autor: Albert Bellés Muñoz

Director: Carlos Rio Cano

Resum

Avui dia, el plàstic és un element de gran importància a la nostra societat. El seu ús i producció han experimentat un creixement exponencial durant l'últim segle degut a la seva versatilitat i fàcil manipulació. Moltes de les seves aplicacions requereixen l'ús de motlles d'injecció de plàstic. En aquest treball hem estudiat les variacions de pressió durant aquests cicles. En particular, hem dissenyat una peça de plàstic i hem fabricat el motlle per crear-la, on hi hem instal·lat un sensor piezoelèctric per mesurar la pressió a l'interior de la cavitat. Tot i que les mesures empíriques obtingudes difereixen lleugerament de les teòriques, els resultats obtinguts han estat prou significatius com per constatar que les variacions de la pressió reflecteixen defectes en les peces. La relació directa entre aquests dos fenòmens és d'especial interès en la indústria, ja que demostra que un control apropiat permet optimitzar el procés.

Agraïments

Voldria donar els meus agraïments al meu tutor de la UPC Carlos Rio Cano i al Víctor Sánchez, qui m'ha fet de tutor a l'empresa on treballo i m'ha ajudat incondicionalment. Ells han estat els qui m'han ajudat a tirar endavant el projecte i motivar-me en els moments més durs i estressants. També vull agrair a l'empresa on treballo per haver-me donat aquesta oportunitat d'endinsar-me i aprofundir coneixements en la injecció. En especial, al Francesc Vilageliu i el Jesús Torres, de taller de motlles, per totes les explicacions teòriques i pràctiques. A Hasco, Meusburger i Moldtecnic per la construcció del motlle amb un temps rècord i sempre amb molta col·laboració. Al Roberto Solé de Kistler per tota la informació i hores que m'ha dedicat per entendre i veure el complert funcionament dels seus sensors. Al centre català del plàstic per les referències bibliogràfiques que em va recomanar a l'inici del meu projecte i finalment, a la meva família i la meva parella que m'han recolzat i ajudat durant tot el projecte.

Índex

1	Introducció	9
1.1	Objecte	9
1.2	Abast	9
1.3	Justificació d'utilitat del TFG	10
2	Estat de l'art	11
2.1	Visió global del món del plàstic	11
2.2	Màquina d'injecció	13
2.2.1	Unitat d'injecció	14
2.2.2	Unitat de tancament	16
2.2.3	Unitat de control	17
2.3	Cicle d'injecció	17
2.3.1	Pressió interna del motlle	19
2.3.2	Potència de tanca	20
2.4	Motlle d'injecció	20
2.4.1	Motlles de canal fred	21
2.4.2	Motlles de canal calent	23
2.4.3	Descripció dels elements d'un motlle d'injecció	24
2.5	Refrigeració del motlle	25
2.6	Polímers	27

2.7	Tipificació dels problemes de la indústria del plàstic	30
2.8	Piezoelectricitat	33
3	Plantejament del problema	36
3.1	Problema peça curta	36
4	Solució aportada	38
4.1	Disseny de la peça	38
4.2	Sistemes piezoelèctrics	39
4.2.1	Introducció	39
4.2.2	Sensors de pressió	40
4.2.3	Posició del sensor en el motlle	42
4.2.4	Senyal - Amplificadors	43
4.2.5	Connexions	45
4.2.6	Detecció de defectes	45
4.3	Disseny del motlle	47
4.3.1	Introducció	47
4.3.2	Càlculs	47
4.3.3	Estudi d'empreses de portamotlles	49
4.3.4	Sistema d'injecció - colada freda	49
4.3.5	Costat d'injecció	50
4.3.6	Costat d'expulsió	53
4.3.7	Elements auxiliars	55
4.3.8	Motlle i placa finals	56
5	Resum de resultats	58
5.1	Resum de pressupost	62
5.2	Anàlisi de les implicacions ambientals	62
6	Conclusions	64

APÈNDIXS	65
A Diagrama de Gantt	66
B Pressupost	67
C Planells	70
D Dades tècniques del polipropilè	74
E Full de paràmetres d'injecció	81
F Dades tècniques de Kistler	83
G Valors de les gràfiques Kistler	98
Bibliografia	101

Índex de figures

2.1	Evolució del nombre d'empreses dedicades al plàstic [2].	12
2.2	Consum de petroli mundial. Elaborat a partir de les dades de [5].	13
2.3	Destinacions principals dels plàstics. Elaborat a partir de les dades de [5].	13
2.4	Esquema màquina d'injecció [7].	14
2.5	Esquema unitat d'injecció [8].	15
2.6	Cargol del fuset [9].	15
2.7	Genollera de tancament [10].	16
2.8	Esquema del cicle d'injecció [12].	18
2.9	Cicle d'injecció [13].	19
2.10	Gràfica Pressió temps i emplenament del motlle [15].	20
2.11	Cicle de potència hidràulica. Elaborat a partir de les dades de [3].	21
2.12	Motlle d'injecció obert [16].	22
2.13	Robot d'extracció de colades [17].	22
2.14	Aspes que trituren el plàstic [18].	22
2.15	Motlle de colada calenta [21].	23
2.16	Parts d'un motlle d'injecció [16].	24
2.17	Dos circuits de refrigeració [22].	26
2.18	Quatre circuits de refrigeració [22].	26
2.19	Gràfica Espessor-Temps per al material PBT [23].	27
2.20	Organització cristal·lina d'un polímer [25].	28

2.21	Evolució d'utilització de diferents tipus de plàstic [2].	29
2.22	Peça curta [28].	30
2.23	Rebava [30].	32
2.24	Efecte piezoelèctric [31].	34
2.25	Circuit equivalent d'un element piezoelèctric [32].	35
2.26	Classificació dels eixos [32].	35
4.1	Model de peça sobre la qual es farà l'estudi	39
4.2	Sensor de mesura a la cavitat [15].	40
4.3	Instant en el que el fluid arriba al sensor [15].	40
4.4	Sensor de mesura indirecta [15].	41
4.5	Sensor de mesura sense contacte [15].	41
4.6	Transformació de bars a pC al sensor piezoelèctric [15].	42
4.7	Flux laminar vs turbulent [35].	43
4.8	Col·locació dels sensor a la figura.	43
4.9	Amplificador ComoNeo [15].	44
4.10	Dalt: Costat on es realitzen les connexions del motlle. Baix: Costat on es realitzen les connexions de la màquina [15].	44
4.11	Element multicanal utilitzat per la connexió entre sensor i amplificador [15].	45
4.12	Tres problemes detectables pel sensors Kistler. a) peça curta b) problema superficial c) rebava [15].	46
4.13	Motlle figura.	47
4.14	Temps de refredament en funció de l'espessor de la peça (vegeu annex D).	48
4.15	Costat d'injecció.	50
4.16	Disc centrador E1380.	50
4.17	Placa d'injecció K11.	51
4.18	Placa portafigures - Costat injecció.	51
4.19	Circuit de refrigeració.	52

4.20 Boquilla E 1625.	52
4.21 Costat d'expulsió.	53
4.22 Placa base expulsió.	53
4.23 Placa expulsora amb expulsors.	54
4.24 Regles separadors K40.	54
4.25 Placa porta-figures expulsió davant.	55
4.26 Placa porta-figures expulsió darrera.	55
4.27 Fotografia del motlle real amb cada una de les seves parts indicades.	57
4.28 Fotografia de la placa injectada.	57
5.1 Gràfica del procés estabilitzat.	59
5.2 Gràfica de peça curta.	60
5.3 Gràfica peça llarga	60
5.4 Gràfica de peça deformada.	61

Índex de taules

2.1	Valors de contracció de cada tipus de polímer [29].	31
2.2	Taula de valors de piezoelectricitat [32].	35
4.1	Taula d'influència de qualitat en peça acabada [15].	40
4.2	Característiques principals del sensor 6183C [15].	42
4.3	Taula resum de components per la sensòrica.	46
4.4	Taula resum de components del motlle d'injecció.	56
5.1	Resum del pressupost total.	62

Capítol 1

Introducció

1.1 Objecte

L'objecte d'aquest projecte és aplicar la tecnologia 4.0 en un motlle d'injecció de plàstic per solucionar problemes de qualitat utilitzant sistemes piezoelèctrics per mesurar canvis de pressió a l'interior d'un motlle.

1.2 Abast

Aquest projecte exposa una visió de la indústria plàstica a nivell global, i es focalitza en l'àmbit de la injecció de plàstic i les seves carències actuals.

Avui dia, els criteris de qualitat de les grans multinacionals de l'automòbil són molt més alts que si ho comparem amb fa uns anys. Aquestes exigències han creat nous nínxols de mercat, noves empreses han vist l'oportunitat de crear sistemes que permetin assolir els estàndards de qualitat necessaris. En aquest projecte pretenem dissenyar un sistema robust d'injecció de plàstic evitant els defectes més habituals com són rebaves, ràfegues o peça curta. Paral·lelament analitzarem les conseqüències que això comporta pel que fa a reducció de costos de qualitat i optimització del temps de cicle d'injecció. Analitzarem i estudiarem aquests defectes més habituals. Calcularem els paràmetres necessaris per introduir els sistemes de sensòrica. Ens centrarem en l'observació a temps real del comportament del fluid dins del motlle amb el propòsit de minimitzar i controlar els defectes.

El treball s'estructura de la següent forma. La secció 2 resumeix tota la teoria bàsica necessària per entendre el contingut del projecte. Els principals defectes estan descrits al capítol 2.7. El plantejament

1.3. Justificació d'utilitat del TFG

del problema que es vol resoldre està descrit a la secció 3 i la secció 4 desenvolupa la solució aportada. El resum dels resultats obtinguts de les nostres investigacions es troben recollits a la secció 5 i les principals conclusions i possibles extensions del treball estan descrites a l'últim capítol. Incloem diversos apèndixs amb el diagrama de Gantt, els pressupostos, alguns planells i informacions variades necessàries per realitzar el treball.

1.3 Justificació d'utilitat del TFG

L'objectiu principal d'aquest projecte és estudiar mètodes eficients per detectar, i identificar defectes en motlles d'injecció i proposar solucions per a corregir-los. L'èmfasi doncs no està tant en el disseny de producció com en les mesures de detecció i correcció. La meua contribució se centra en la recerca de solucions globals pels defectes en la indústria del plàstic. La part en la que em centraré fonamentalment serà el funcionament de la sensòrica a l'interior d'un motlle.

En aquest projecte han estat útils els coneixements adquirits durant la carrera d'enginyeria mecànica com ara fluids, electrònica, materials i control d'automatismes. Intentaré exposar de forma detallada i accessible el funcionament de la tecnologia utilitzada. Inclouré essencialment només aquells conceptes teòrics que són necessaris per entendre el problema i la solució aportada. També faré referència a bibliografia específica per ampliar aspectes que se surten de la temàtica específica d'aquest treball.

La motivació principal que em mou a realitzar aquest projecte és la necessitat de millora en els processos d'injecció de plàstic que he observat durant la meua incorporació en una empresa d'aquest camp. Aquest projecte pretén recollir i ordenar els coneixements i dades bàsiques sobre injecció de plàstics, sovint difícils de trobar. Esperem que aquest document serveixi de referència per consultar la informació de manera pública i accessible a les persones interessades en aquesta temàtica.

Capítol 2

Estat de l'art

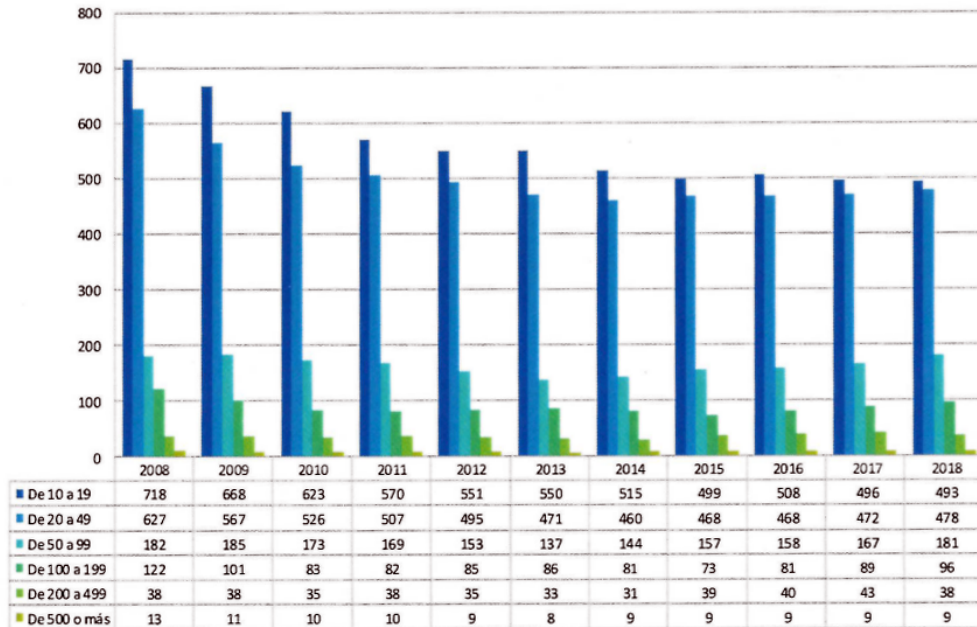
En aquest capítol s'exposaran els conceptes necessaris previs que ens serviran de base per la realització del nostre treball. Primer dono una visió global del món del plàstic, després presento la màquina d'injecció i el seu cicle en detall. Seguidament descriu el motlle d'injecció, el materials polimèrics, els diversos problemes d'injecció i finalment explico la piezoelectricitat.

2.1 Visió global del món del plàstic

La paraula plàstic prové del llatí "plasticus", on a Grècia s'utilitzava la terminologia grega "plastikos" "plastos" que vol dir alguna cosa per moldejar [1]. El plàstic ha esdevingut un element de gran importància a la nostra societat. El seu ús i producció han experimentat un creixement exponencial després de la primera guerra mundial. S'utilitza pràcticament en tots els àmbits de l'activitat humana. Entre els més importants cal destacar el sector alimentari, el farmacèutic, el sanitari i automobilístic. Segons el centre europeu del plàstic [2], el consum de plàstic l'any 2017 va ser de 348 milions de tones, el 19% de les quals va ser a Europa. El volum més elevat de consum va associat als envasos de producte, els quals ocupen un 40% del total, seguit de productes de construcció que ocupen el 30%. El reciclatge total és tan sols de 8,4 milions de tonelades respecte les 348 consumides. Concretament si ens centrem a Espanya, el reciclatge és de només un 37%. Tot i així, els darrers anys s'observa una tendència a l'alça gràcies a les campanyes de conscienciació contra el *littering*, anglicisme que designa llençar deixalles sense reciclar. La indústria plàstica mou més de 60.000 empreses i més de 1,5 milions de llocs de treball arreu del món. La fabricació de plàstics suposa tan sols el 4-6% dels recursos fòssils (petroli, carbó i gas) tal i com s'observa a la figura 2.2. Durant els últims anys la tendència és a mantenir el nombre d'empreses dedicades al sector, però molt lluny respecte l'inici de la crisi del 2008 com s'observa a la figura 2.1. Principalment hi

2.1. Visió global del món del plàstic

Número de empresas nacionales de fabricación de productos de plástico
Con al menos 10 asalariados



Fuente: INE
 Elaboración: CEP
 Actualización: 17/09/2018

Figura 2.1: Evolució del nombre d'empreses dedicades al plàstic [2].

ha dos tipus de plàstics, aquells que es poden reutilitzar i reciclar, com són els termoplàstics, i els que són d'un sol ús, els termostables. Els materials termoplàstics són una família de plàstics que poden fondre's quan s'escalfen i endurir-se quan es refreden. Aquestes característiques són reversibles i és el que els fa reciclables. Dins d'aquesta categoria, els materials més comuns que hi trobem són les poliamides (PA), els policlorurs de vinil (PVC), el polipropilè (PP) i els polietilens (PE) [2]. Els materials termostables en canvi, són una família de plàstics que experimenten una transformació química quan s'escalfen i creen una xarxa tridimensional. Després de ser escalfats no és possible fondre'ls altre vegada i donar forma de nou. Dins d'aquesta categoria hi trobem entre d'altres el poliuretà (PUR), les resines epoxi, les resines acríliques o la silicona [3, 4].

A la figura 2.3 hi ha recollides les destinacions principals dels plàstics. Tal i com s'observa, al voltant del 40% correspon a envasos que s'utilitzen pel menjar, per l'empaquetament d'objectes o bé en indústria

2.2. Màquina d'injecció

farmacèutica. En segon lloc, elements de construcció com poden ser canonades o elements auxiliars suposen un 20% del consum total. Finalment, tota la indústria automobilística, que és el sector on es desenvolupa aquest treball, ocupa el 10% del volum total del plàstic.

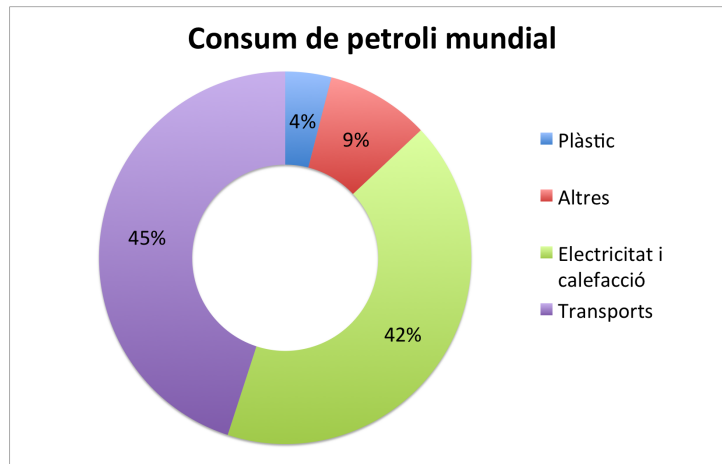


Figura 2.2: Consum de petroli mundial. Elaborat a partir de les dades de [5].

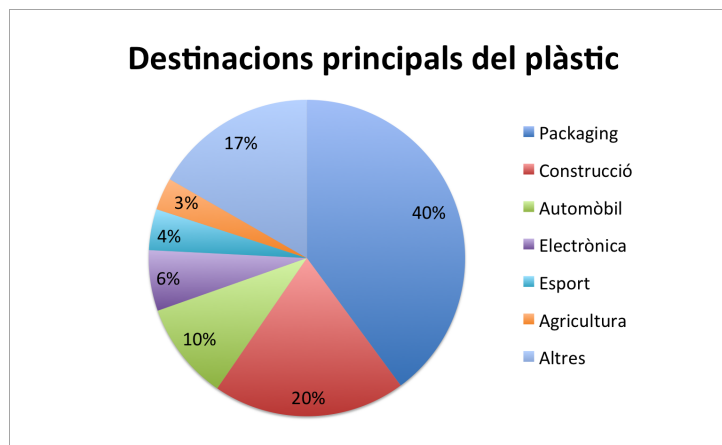


Figura 2.3: Destinacions principals dels plàstics. Elaborat a partir de les dades de [5].

2.2 Màquina d'injecció

En el món de l'enginyeria, la injecció de plàstics per emmotllament és un procés semicontinu que consisteix a injectar plàstic en estat fos en un motlle tancat i a alta pressió. La màquina d'injecció convencional o anomenada també màquina de fuset, consta de tres parts principals. La primera part, la **unitat d'injecció**, comprèn les parts de la màquina destinades a la càrrega, plastificació i injecció del material

2.2. Màquina d'injecció

a injectar. La segona és la **unitat de tancament** i consta dels dispositius necessaris per la col·locació de les dues parts del motlle i aconseguir que aquest no s'obri durant el procés d'injecció. Aquestes dues unitats estan representades a la figura 2.4. L'última part de la màquina és la **unitat de control**, i és la que permet efectuar les maniobres necessàries a la màquina a través d'un dispositiu electrònic. La combinació d'aquestes tres permeten dur a terme el procés d'injecció [3, 6].

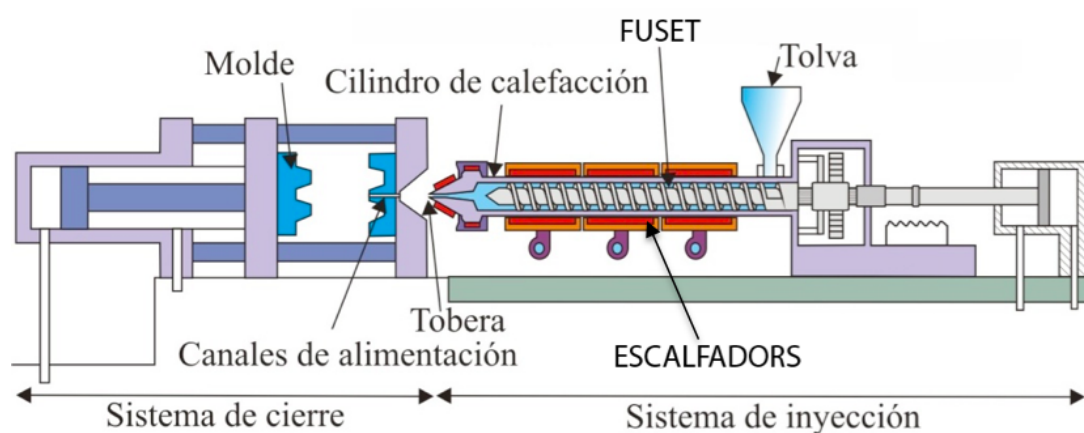


Figura 2.4: Esquema màquina d'injecció [7].

2.2.1 Unitat d'injecció

L'objectiu principal de la unitat d'injecció és transmetre la pressió i temperatura necessària al fluid fins al punt d'injecció. Les parts de la unitat d'injecció, representades a la figura 2.5, són les següents:

- La **unitat de plastificació** realitza les funcions de carregar i plastificar el material sòlid mitjançant el moviment axial d'un cargol que genera una alta fricció. El cargol és l'encarregat de produir una pressió constant que permetrà injectar el plàstic fins al motlle. Aquesta unitat és un cilindre d'acer capaç de suportar les altes pressions (depenent de la màquina entre 20 i 1000 Tn) que genera el cargol del seu interior i que està recobert per calefactores.
- La **tolba** s'utilitza per dipositar la matèria primera que arriba en forma de gransa a la màquina. La gransa és el plàstic trossejat en parts de no més de 2-3 mil·límetres.
- El **fuset o cargol sense-fi** és l'encarregat de generar l'escalfament del material i de la seva fusió a l'interior de la unitat de plastificació. El cargol (figura 2.6) acostuma a tenir 3 diàmetres diferents que ajuden a homogeneïtzar el material mentre no arriba al punt d'injecció. Els fusets es classifiquen

2.2. Màquina d'injecció

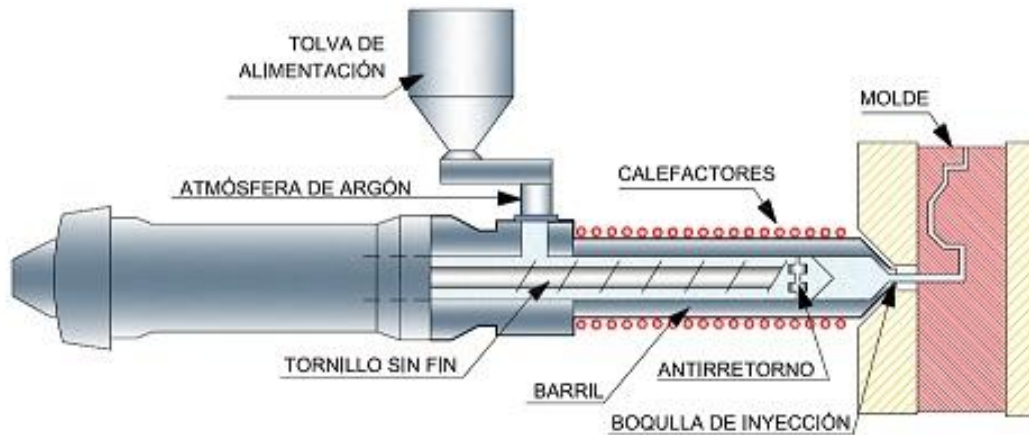
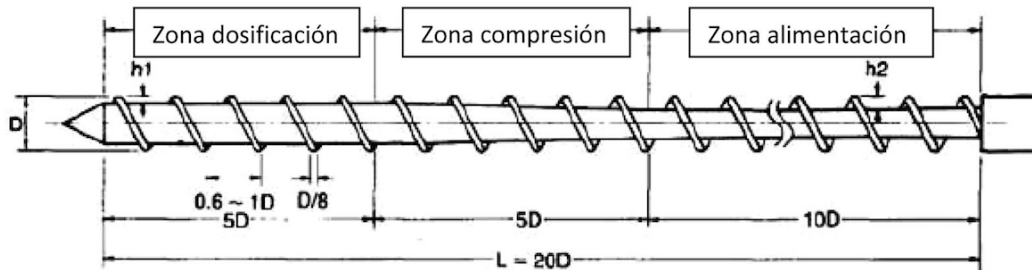


Figura 2.5: Esquema unitat d'injecció [8].

segons una relació longitud/diàmetre depenent del material a injectar. Aquesta dada la proporciona en molts casos el fabricant de material.



D= diàmetre del husillo

L= Longitud efectiva del husillo ... Compresión ratio $h2/h1$

Figura 2.6: Cargol del fuset [9].

- Els **escalfadors i termoparells** són petites resistències col·locades al voltant del cilindre d'injecció que permeten mantenir la temperatura desitjada constant al llarg del procés d'injecció. Els termoparells indiquen la temperatura del fuset i si s'han d'engegar o bé apagar els escalfadors.
- La **boquilla i punt d'injecció** és la punta de la unitat de plastificació que realitza la connexió directa entre el cilindre d'injecció amb el motlle.

2.2. Màquina d'injecció

2.2.2 Unitat de tancament

La unitat de tancament és una de les parts més importants que s'especifiquen en una màquina d'injecció. La pressió màxima que és capaç de suportar aquesta unitat de tancament és la que determina la pressió que es pot exercir durant la injecció per tal que el motlle no s'obri. En aquest treball direm 'tona de pressió' per referir-nos a la pressió d'una tona per centímetre quadrat, és a dir $9,8 \times 10^6 \text{ N/cm}^2$, tal i com es fa habitualment en aquest camp. Les funcions de la unitat de tancament són, per una banda, retenir, obrir i tancar el motlle, i finalment, expulsar la peça [6]. En l'actualitat, el tancament de la màquina d'injecció és essencialment una premsa. Les tres més comercialitzades són les següents:

- **Prensa hidràulica:** és un pistó de grans dimensions que se situa a la part mòbil de la màquina i que permet l'obertura i tancament del motlle.
- **Prensa articulada accionada hidràulicament:** és una premsa composta per una part mecànica i una altra d'hidràulica. Aquesta premsa conté l'anomenada *genollera*, que és el sistema d'articulacions mecàniques que permet l'obertura i tancament de la màquina. Podem observar aquestes articulacions a la figura 2.7 així com les parts principals de la unitat de tancament [10].

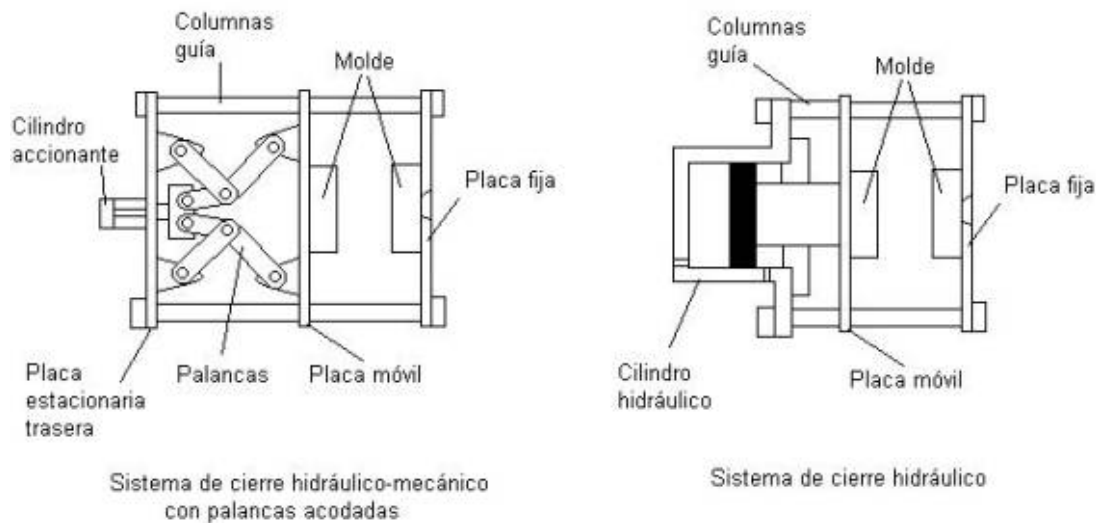


Figura 2.7: Genollera de tancament [10].

- **Prensa elèctrica:** s'utilitza un servomotor i engranatges reductors de la transmissió per aconseguir la força desitjada. Els servomotors produeixen moviments molt exactes que permeten un tancament del motlle molt precís. L'utilització de premses elèctriques produeix un gran estalvi energètic tal com s'explica a la secció 2.3.

2.3. Cicle d'injecció

La força de tancament és un valor molt rellevant, ja que determina la potència de la màquina, ve donada per l'expressió

$$F = P_m \times A_p, \quad (2.1)$$

on F és la força mesurada en Newtons (N), P_m la pressió mitjana mesurada en Pascals (Pa) i A_p denota la suma de les àrees projectades (m^2) en cada una de les cavitats. Els càlculs de la pressió mitjana i la força de tancament necessària per al nostre motlle en particular, estan detallats a la secció 4.3.2.

2.2.3 Unitat de control

La unitat de control és l'ordinador on s'estableixen i es monitoritzen tots els paràmetres del procés: els temps, les temperatures, les pressions i les velocitats. També és l'aparell que permet realitzar qualsevol modificació entre la màquina i l'operador [11].

2.3 Cicle d'injecció

El conjunt de les tres unitats explicades a la secció anterior permeten dur a terme la injecció. El cicle d'injecció és el procés pel qual s'obté la peça resultant seguint uns passos automatitzats i gestionats per la unitat de control. El temps de refredament de la peça injectada és el paràmetre principal del cicle, el qual és proporcional a les dimensions i gruix de la peça. L'objectiu principal de qualsevol empresa és produir peces amb el nivell de qualitat requerit aconseguint el mínim temps de cicle [3, 4].

Els passos que duu a terme la màquina d'injecció són els que estan indicats a la figura 2.8. Esquemàticament consisteixen en (i) carregar la tolva, la qual introduirà el material al fuset, (ii) el material es comença a escalfar mitjançant la fricció entre el fuset i les parets del barril amb l'ajuda dels escalfadors auxiliars fins aconseguir omplir el cilindre de material a la temperatura desitjada, (iii) s'inicia el procés d'injecció el qual s'introdueix el material a la cavitat del motlle, i (iv) el motlle s'obre un cop la peça ja està solidificada i freda.

No obstant, cal tenir en compte que la seqüència d'injecció és una mica més complexa que únicament introduir material fos a la cavitat. Amb l'ajuda de la figura 2.9 presentem a continuació els passos de forma més detallada de les diferents etapes.

1. **Tancament del motlle:** un cop introduït el material es tanca el motlle mitjançant el sistema de premses de la màquina.
2. **Unitat d'injecció endavant:** després de tancar el motlle, la unitat d'injecció que fins ara estava separada del motlle, avança fins que la boquilla s'acobla al punt d'entrada del motlle.

2.3. Cicle d'injecció

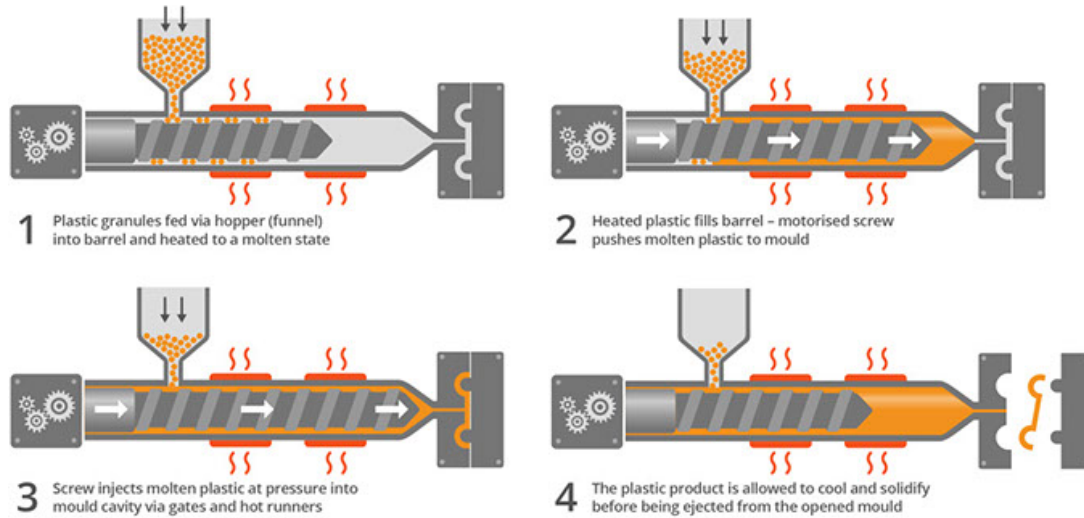


Figura 2.8: Esquema del cicle d'injecció [12].

3. **Injecció:** el fuset pressiona el material que surt per la boquilla i produeix la injecció. Durant el temps d'injecció s'ha d'omplir tot el motlle de material. Aquest temps depèn molt del tipus de material utilitzat, la velocitat d'avançament del fuset i les dimensions del motlle.
4. **Post-pressió:** és part del temps de refredament del material a l'interior del motlle. És una etapa important on s'injecta d'una petita porció del material per contrarestar les contraccions del material durant el refredament. Així s'aconsegueixen les dimensions correctes i un pes constant de la peça. L'etapa finalitza un cop la entrada de material al motlle s'ha solidificat.
5. **Dosificació:** és el procés de tornar a carregar de plàstic el fuset per tal de dur a terme el següent cicle d'injecció.
6. **Unitat d'injecció enrere:** el fuset es retira un cop s'ha solidificat l'entrada de material al motlle per donar pas a la següent etapa.
7. **Obrir motlle:** un cop refredada la peça i retirada la unitat d'injecció podem procedir a l'obertura del motlle. L'extracció de peça: és el temps que es triga en treure o expulsar la peça de la seva cavitat un cop obert el motlle mitjançant els expulsors.

Refredament: es duu a terme durant les fases 3,4,5,i 6 de la figura 2.9. Consisteix en refredar la peça a través de les parets del motlle, que es troben a una temperatura molt inferior a la que es troba el polímer. És una de les operacions més importants, perquè és la que més temps de cicle consumeix. Per tal de guanyar en productivitat i eficiència cal reduir-la en màxim possible amb un bon sistema de refrigeració. Una manera de calcular el temps de refredament és mitjançant la fórmula (2.2) [14].

2.3. Cicle d'injecció

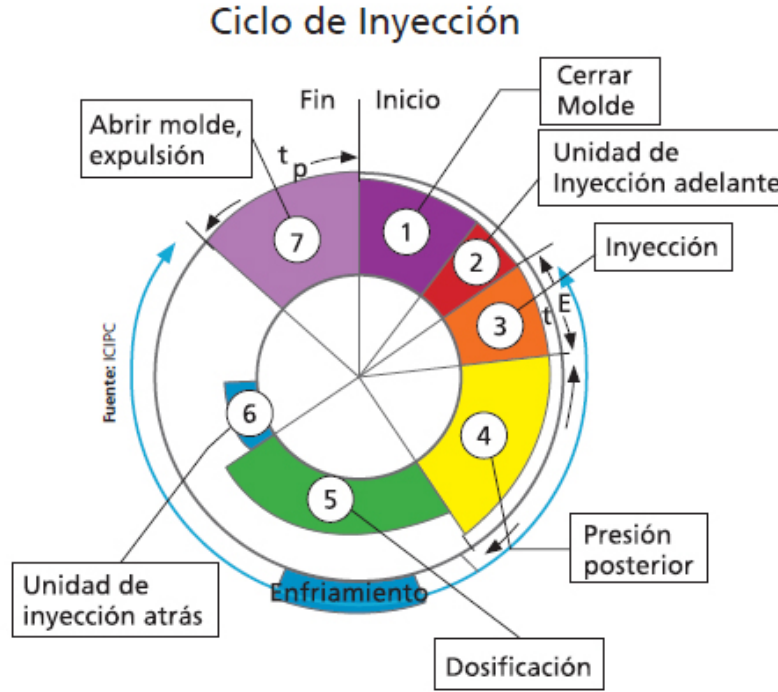


Figura 2.9: Cicle d'injecció [13].

$$TF = -\frac{e_{\max}^2}{2\pi\alpha_n} \times \log \frac{\pi(T_{\exp} - T_{\text{mold}})}{4(T_{\text{mat}} - T_{\text{mold}})} \quad (2.2)$$

on TF és el temps de refredament en segons, E_{\max}^2 és l'espessor màxim de la peça en centímetres, α_n és la difusivitat tèrmica del material en centímetres quadrats per grau Celsius ($\text{cm}^2/^\circ\text{C}$), T_{\exp} és la temperatura d'expulsió de la peça, T_{mold} és la temperatura del motlle i T_{mat} és la temperatura del material, totes tres mesurades en graus Celsius.

2.3.1 Pressió interna del motlle

Durant el període d'injecció passem per diverses fases, les quals donen lloc a diferències de pressió diferents a l'interior del motlle. Aquesta variació temporal de la pressió es presenta de forma esquemàtica a la figura 2.10. Tal i com es veu, al començament del cicle d'injecció la pressió és nul·la perquè encara no hi ha suficient material a dins la cavitat. A mida que es va injectant material va pujant la pressió fins al màxim (punt 4 de la figura 2.10). A partir d'aquest moment ja no hi ha més escalfament del motlle i el circuit de refrigeració s'encarregarà d'anar solidificant la peça. Un cop refredada del tot la pressió tornarà a ser nul·la fins que s'obri de nou el motlle per expulsar la peça (punt 6 de la figura 2.10).

2.4. Motlle d'injecció

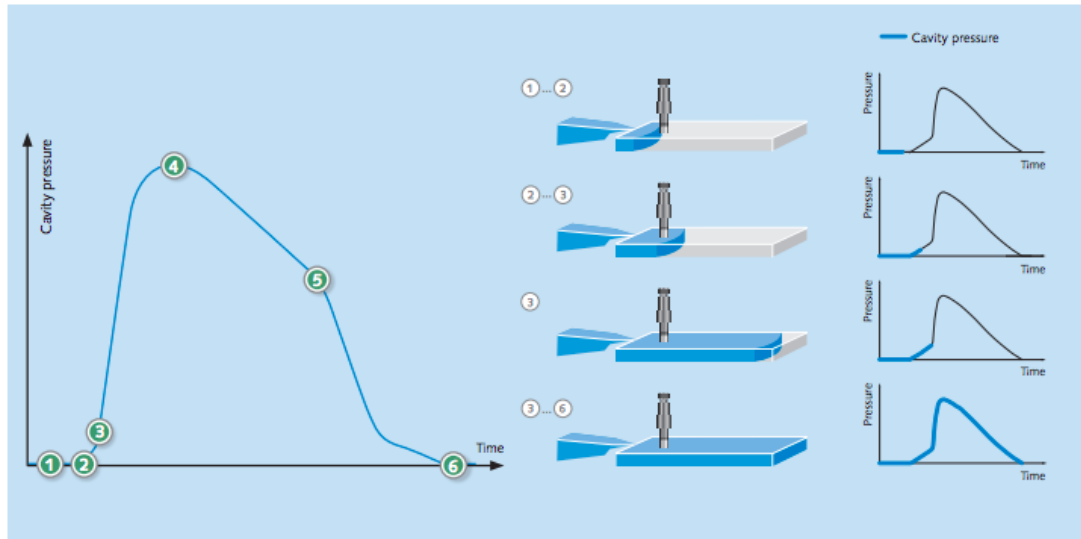


Figura 2.10: Gràfica Pressió temps i emplenament del motlle [15].

2.3.2 Potència de tanca

La potència requerida tampoc és constant al llarg del cicle d'injecció. De la mateixa manera que la pressió interna varia, la potència també està directament relacionada amb les diferents etapes del cicle. En el gràfic de la figura 2.11 s'observa com la potència màxima s'assoleix durant un curt període de temps que va associat al temps en el que es produeix la injecció de plàstic.

Així com les màquines hidràuliques treballen en continu, les màquines elèctriques en canvi, són molt més eficients, ja que el consum d'energia només es du a terme durant l'obertura i el tancament del motlle. L'estalvi principal prové de que quan el motlle està tancat, no es requereix energia per mantenir-lo tancat com amb les màquines hidràuliques. Si ens basem en la figura 2.11, el 70-80% del temps, que aproximadament correspon a la injecció i el refredament, la màquina elèctrica no consumeix energia.

2.4 Motlle d'injecció

Un motlle d'injecció és una bloc d'acer que conté com a mínim una cavitat en la qual s'injecta plàstic fos que reproduïx el negatiu del sòlid que es pretén fabricar. La diferència principal amb la resta de motlles és que la injecció del plàstic és la injecció a alta pressió i materials plàstics prèviament fosos. Els motlles d'injecció permeten garantir un altes exigències de disseny i dimensionals i a la vegada tenir un procés de fabricació molt competitiu i amb un alt rendiment de producció. El cost de producció és bàsicament l'energia i material utilitzat un cop amortitzat da fabricació del motlle. Principalment els

2.4. Motlle d'injecció

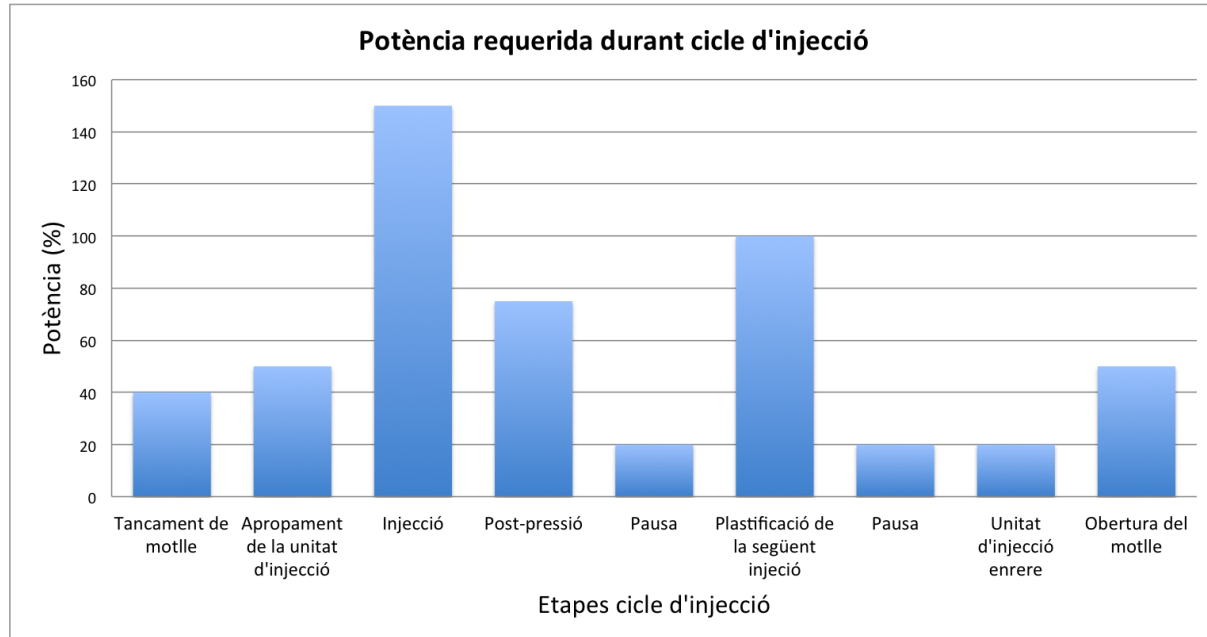


Figura 2.11: Cicle de potència hidràulica. Elaborat a partir de les dades de [3].

motlles d'injecció es classifiquen en dos grans grups segons les característiques estructurals de disseny, motlles de **canal fred** i motlles de **canal calent** [3].

2.4.1 Motlles de canal fred

Els motlles de canal fred són aquells motlles el qual hi ha un canal que connecta les diverses cavitats i que s'omple de plàstic per tal d'arribar a omplir la peça. Un cop finalitzat el procés d'injecció, el canal ple de plàstic és extret de la peça i triturat per tal de reutilitzar el plàstic. Dissenyar un motlle de canal fred és inicialment més econòmic, però comporta addicionalment la compra de equips d'extracció de colada automàtics i trituradors de plàstic que tenen un cost bastant elevat i que indirectament fan pujar el preu de la inversió. Aquests ocupen espai, i fan disminuir la qualitat de la peça final si es reutilitza el plàstic i fan augmentar el temps de cicle al voltant de un o dos segons degut al procés d'extracció de colada. Aquest canal ha de procurar ser el més esfèric possible ja que la distribució de pressions a l'interior del motlle sigui per igual a totes les cavitats. El diàmetre depèn del material a utilitzar i de la distància entre les cavitats. Quan més viscos és el material, més gran ha de ser el diàmetre del canal, ja que al plàstic li costa més fluir a través d'ell. També es requereix d'un diàmetre més gran quan la separació entre les cavitats sigui major.

2.4. Motlle d'injecció

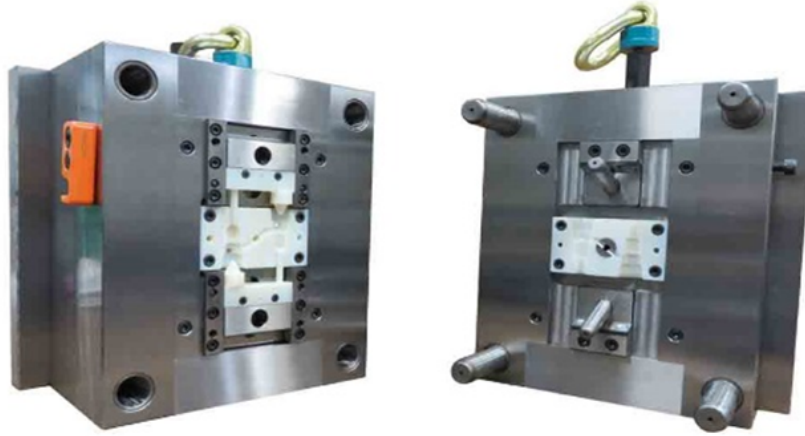


Figura 2.12: Motlle d'injecció obert [16].

L'equip d'extracció de colada acostuma a ser un robot de dos eixos que permet agafar de manera automatitzada la colada del motlle i separar-la de les peces injectades. Un cop separat es desplaça fins a l'entrada de l'equip triturador per tal de triturar el material. L'utilització d'aquests robots (figura 2.13) tendeixen a fer augmentar el temps de cicle entre 1 i 2 segons [11]. Aquest temps implica una pèrdua de capacitat de producció respecte els altres tipus de motlle que expliquem en el següent apartat.

L'equip de triturat ens permet eliminar la forma de la colada i fer-la gransa altre cop per a ser injectada. Els plàstic termoconformables que són els utilitzats en els processos d'injecció són 100% reciclables i no perden pràcticament les seves propietats tot i ja haver estat transformats. La figura 2.14 mostra com és un equip de triturat.



Figura 2.13: Robot d'extracció de colades [17].



Figura 2.14: Aspes que trituren el plàstic [18].

2.4. Motlle d'injecció

2.4.2 Motlles de canal calent

A diferència dels motlles de canal fred als motlles de canal calent, el material no arriba a la cavitat a través d'un ramal, sinó que a l'interior del motlle hi ha una càmera calenta que manté el material fos fins a les diferents sortides de material a cadascuna de les cavitats. Les boquilles contenen unes resistències que controlades amb la unitat de control permeten graduar la temperatura del punt d'injecció. L'implementació de la càmera calenta a l'interior del motlle provoca un augment significatiu del preu del motlle (6.000-7.000 euros més) ja que es requereix de la càmera i boquilles calentes que tenen un cost elevat i d'una mecanització addicional al motlle. Si la productivitat és molt alta, econòmicament són més rendibles ja que no es perd el material dels ramals de la colada freda (en el cas de l'automoció no es permet l'ús de materials reciclats) [11], i, acostuma a ser possible una reducció de temps de cicle [19] [20]. Sobre aquests tipus de motlles podem exercir una major control a les diferents cavitats i ajustar els paràmetres específics a cada cavitat que permeten reduir el scrap o bé anular cavitats. A més, afavoreixen les condicions de procés, permeten millorar la qualitat del producte i disminueixen els requeriments en termes de pressió d'injecció i força de tancament.

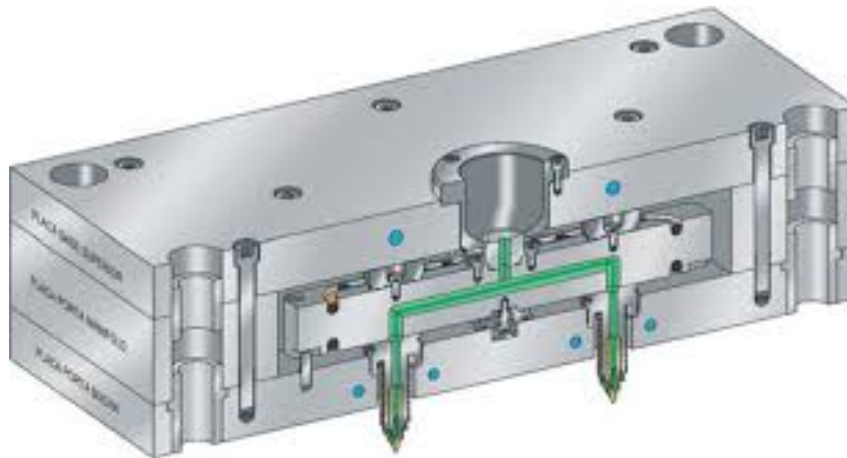


Figura 2.15: Motlle de colada calenta [21].

Inconvenients: Les boquilles de canal calent són molt més petites que una boquilla tradicional de ramal fred. Aquest factor pot ocasionar problemes d'injecció si el material plàstic ve mica contaminat de metalls o derivats i pot obstruir la punta d'injecció. En canvi, l'entrada del canal fred és molt més gran ja que és una única entrada per totes les cavitats i el cabal i canal han de ser majors.

2.4. Motlle d'injecció

2.4.3 Descripció dels elements d'un motlle d'injecció

A continuació s'explicaran detalladament les diferents parts en les quals s'estructura un motlle d'injecció convencional mitjançant la figura 2.16.

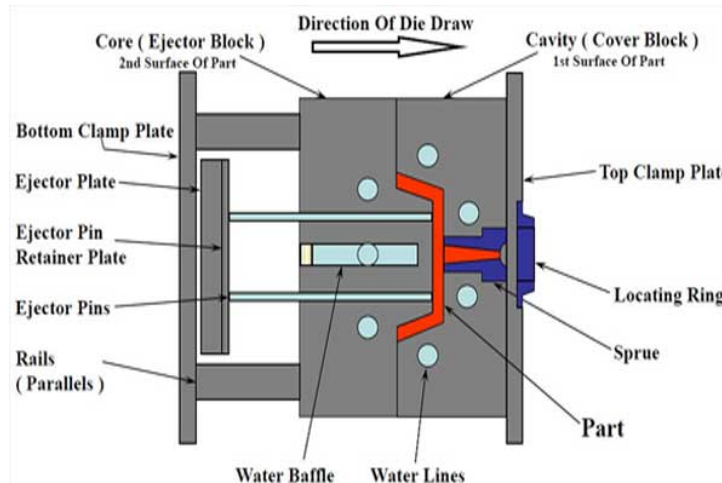


Figura 2.16: Parts d'un motlle d'injecció [16].

Part fixa

És aquella que està fixa a la màquina i no es mou. Les seves parts són:

- Placa base: és aquella part del motlle que no es mou quan la màquina realitza el moviment d'injectar (obrir i tancar el motlle). Aquesta, està subjectada al plat de la màquina fixa i es recolza el cilindre d'injecció.
- Placa porta figura: aquella que subjecta el postís. El postís és la placa que conté les cavitats.
- Centrador: Serveix per alinear el motlle amb la màquina, normalment té una forma cilíndrica.
- Canal de colada: són els ramals interns que comuniquen una cavitat amb una altre com s'ha explicat anteriorment.
- Circuit de refrigeració: el conté tant la part mòbil com la fixa del motlle. La calor que desprèn el plàstic fos l'absorbeix el circuit de generació intentant establir un sistema estacionari que permeti aconseguir peces amb la qualitat necessària.
- Guies o columnes: les dues parts del motlle tenen un sistema de guies en una part, i forats en l'altre amb un bon ajust que assegurin el bon acoblament entre ambdues parts.

2.5. Refrigeració del motlle

Part mòbil

És aquella que es mou juntament amb el plat mòbil de la màquina, les seves parts són:

- Placa base: igual que en la part fixa, serveix per subjectar el motlle a la màquina d'injecció.
- Placa expulsora: placa que conté els expulsors i que es mou un cop s'ha obert el motlle. La seva missió consisteix en extraure la peça amb els expulsors que allotja quan aquests fan pressió a la peça.
- Regles separadors: són gruixos de ferro, posats en ambdós costats del motlle, subjectes a la placa base i la placa porta figures mitjançant cargols. Aquests creen un espai buit central entre les dues plaques per on es realitzarà el moviment de la placa expulsora.
- Expulsors: són aquells elements que empenyen la peça un cop solidificada per extreure-la del motlle. Poden tenir geometries diferents segons la complexitat de la peça, però acostumen a ser cilíndrics. Els expulsors deixen una petita marca a la peça.
- Recuperadors: element de seguretat que serveix per evitar impactes entre expulsors i la figura.
- Zona de partició: zona al voltant dels postissos on la part fixa i la part mòbil dels motlles es toquen i delimiten la figura.
- Armella: element de seguretat que permet transportar els motlles pesats mitjançant un pont grua per l'interior de les fàbriques.
- Sistemes de canals d'alimentació: s'encarreguen de dirigir el plàstic fos cap a les diferents cavitats.

2.5 Refrigeració del motlle

La refrigeració d'un motlle és aquell circuit de canals que permet temperar la superfície de la cavitat a la temperatura desitjada, evitant que el motlle s'escalfi amb la entrada del plàstic fos (150-300°C) durant la injecció. Per evitar aquest escalfament és necessari fer passar un fluid a menor temperatura per l'interior de la cavitat que absorbeixi la calor que dissipa el plàstic. El disseny d'aquests canals i la seva efectivitat segons la peça seran els principals factors que determinaran el temps de refrigeració de qualssevol peça i directament repercutiran en el cicle d'injecció. A més més, la refrigeració permetrà una solidificació de la peça uniforme i evitarà defectes principals com el de la deformació per contracció o durant el desmoldeig. La figura 2.17 és un clar exemple de la col·locació dels canals de refrigeració al voltant de la figura obtenint un resultat no conforme degut a la falta de refrigeració. També s'observa

2.5. Refrigeració del motlle

que el temps de refrigeració és més elevat que el de la figura 2.18, on s'han col·locat més circuits de refrigeració i s'obté un resultat de la peça dimensionalment correcta amb un temps de cicle menor [22].

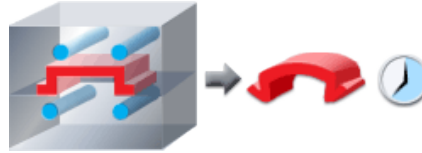


Figura 2.17: Dos circuits de refrigeració [22].

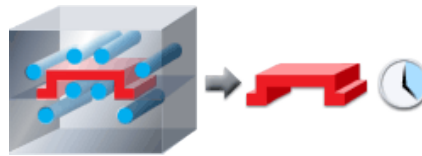


Figura 2.18: Quatre circuits de refrigeració [22].

Els canals d'aigües del motlle van connectats en un distribuïdor múltiple col·locat a prop del motlle, el qual rep l'aigua freda de la xarxa i la distribueix en les diferents entrades del motlle depenent de la quantitat de circuits que s'han dissenyat. Cada entrada és un circuit tancat i independent als altres, això facilita ajustar les temperatures del fluid a cada entrada. Les temperatures poden oscil·lar entre -10°C i 90°C depenent de l'aplicació i la zona. Si la temperatura del fluid és a prop dels 0°C s'utilitzarà metanol (aigua amb alcohol) per evitar la solidificació. Quan les temperatures són a prop dels 100°C s'utilitzen olis per evitar l'ebullició.

Abans de posar qualssevol motlle a producció, sempre s'engega el circuit d'aigües que permeten en aquest cas, escalfar el motlle. És un procés que dura força estona (30-60min) depenent de les dimensions del motlle, i un cop temperat podem començar les primeres injeccions. Un ajust correcte de la temperatura de motlle permet:

- Aconseguir contraccions uniformes.
- Obtenir qualitat de peça superficial desitjada.
- Assolir característiques mecàniques desitjades.
- Reduir el temps de cicle.
- Aconseguir la temperatura adient perquè el material flueixi en bones condicions.

2.6. Polímers

Durant el procés de solidificació, intervenen una varietat de factors que afecten directament la rapidesa amb la qual es genera un alt o baix coeficient de transferència de calor i per tant amb el cicle d'injecció:

- **Espessor de la peça:** segons el gruix de la peça, el refredament serà molt més llarg o curt ja que únicament podem influir a partir de les parets del motlle i no a l'interior de la peça. La relació entre l'espessor i el temps de refredament té una relació aproximadament proporcional al quadrat de l'espessor de la peça en el cas dels materials semicristal·lins com el PBT [23] tal i com s'observa a la figura 2.19.

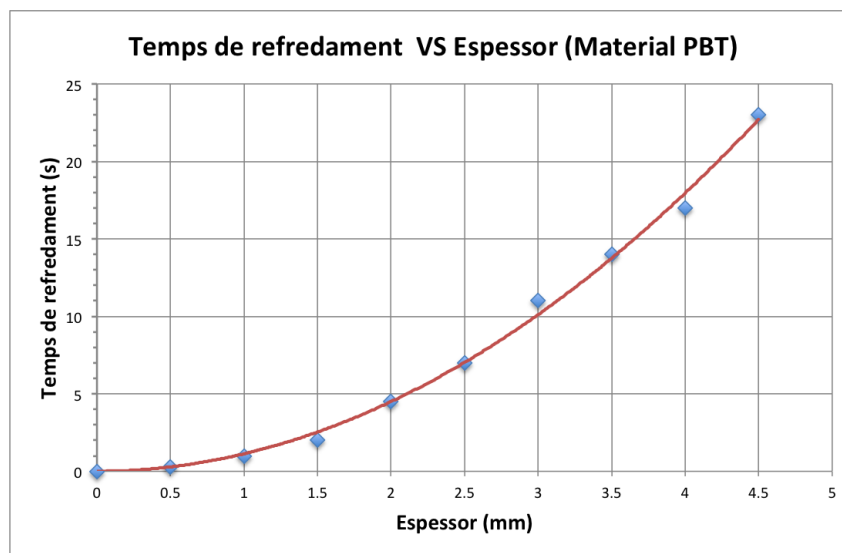


Figura 2.19: Gràfica Espessor-Temps per al material PBT [23].

- **Plàstic a injectar:** les característiques pròpies dels materials (PP, PA6, PA66...) com són la fluïdesa o la contracció principalment ens han d'ajudar a dissenyar el sistema de refrigeració.

Els diferents canals de refrigeració es fabriquen mitjançant els processos productius com la broca i la electroerosió. La distribució dels canals pot ser en sèrie, paral·lel o una combinació; els primers garanteixen les mateixes condicions per a tots els canals amb un risc d'obturació petit, oferint molta seguretat. El sistema en paral·lel en canvi, ofereix una baixa pèrdua de pressió i reduïdes diferències tèrmiques.

2.6 Polímers

És important conèixer les característiques físiques que tenen els plàstics ja que tenen influència directa en la capacitat d'injectar en el motlle i de la qualitat final del producte.

2.6. Polímers

Un polímer és un producte format per la repetició d'unitats (mers) connectades entre sí mitjançant enllaços covalents. La gran majoria de polímers provenen de cadenes d'hidrocarburs, amb enllaços C-C (covalent) com a unió principal i es consideren productes orgànics. Els materials polimèrics estan formats per macromolècules a les quals els àtoms també es troben units mitjançant enllaços covalents. Adicionalment s'hi generen enllaços secundaris, que són els principals generadors de la plasticitat [24]. Els plàstics que s'utilitzen per al món de la injecció són els termoplàstics, que com s'ha comentat anteriorment són reciclables. Els materials termoplàstics estan formats per llargues cadenes de molècules lineals, que sotmeses a certes condicions de pressió i temperatura son susceptibles de fluir. Això succeeix quan hi ha una aportació d'energia prou gran per vèncer les forces intermoleculars. Altrament dit, són materials que per sobre d'una determinada temperatura tenen propietats plàstiques, i que es converteixen en sòlids per sota d'aquesta temperatura.

Característiques dels polímers:

- **Cristal·linitat:** La cristal·linitat d'un material s'identifica per l'estat del material solidificat després d'haver estat a temperatures de processat (150-300°C) on el plàstic és fos. Habitualment, quan més lent refredem el polímer, més cristal·lí obtindrem el polímer i viceversa. En el procés d'injecció, la cristal·linització vindrà directament proporcional a la velocitat de refredament durant el cicle d'injecció tot i que també i influeix el tipus de polímer. La figura 2.20 reflexa l'estructura que els plàstics adopten, en el cas d'un polímer cristal·lí, els àtoms estan perfectament ordenats, en canvi, en un polímer amorf l'estructura és estranya i no segueix cap patró.

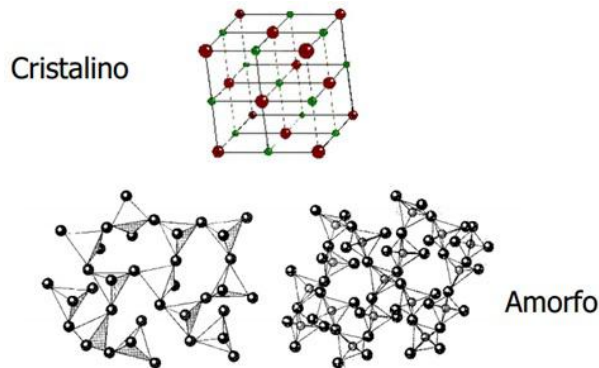


Figura 2.20: Organització cristal·lina d'un polímer [25].

- **Contracció i deformació:** El fenomen de la contracció es produeix entre el període que el sòlid és expulsat de la màquina d'injecció a una temperatura elevada i s'ha refredat completament. Els

2.6. Polímers

materials més cristal·lins tenen una constant de cristal·linitat més elevada que els materials amorfs i a conseqüència, les contraccions de la peça seran diferents.

- Propietats tèrmiques: aquestes descriuen el comportament dels polímers enfront de l'acció de la calor. La propietat més característica en els materials és la viscositat. Aquesta és la resistència que presenta aquest a fluir. La viscositat és una propietat de tots els fluids, tant líquids com gasos, ara bé, en els gasos el seu efecte és gairebé menyspreable. És el contrari a la fluïdesa. Per calcular l'índex de fluïdesa es realitza un assaig que permet obtenir la quantitat de material en grams que s'obté a través d'un petit orifici en 10 minuts a una pressió i temperatura determinades pels materials termoplàstics. La norma ASTM D 1238 [26] especifica els detalls que ha de complir l'aparell que es coneix amb el nom de 'plastómetro'. Aquest índex és molt usat ja que és una prova senzilla i ràpida que proporciona una relació amb el pes molecular de material i la viscositat. La condició més usada a l'assaig és 190°C/2,16Kg i aquest proporciona valors de l'ordre de magnitud entre 1g/10min i 40g/10min entre els materials més comuns (polipropilè, poliamides, abs, etc) [27].

La tendència dels últims anys dels diferents tipus de polímers que s'utilitzen per a la injecció en plàstic la veiem reflectida a la figura 2.21. El polipropilè juntament amb el HDPE són els materials més utilitzats amb un total de 930.000tn cada un [2]. El segueixen plàstics com el LDPE o PET.

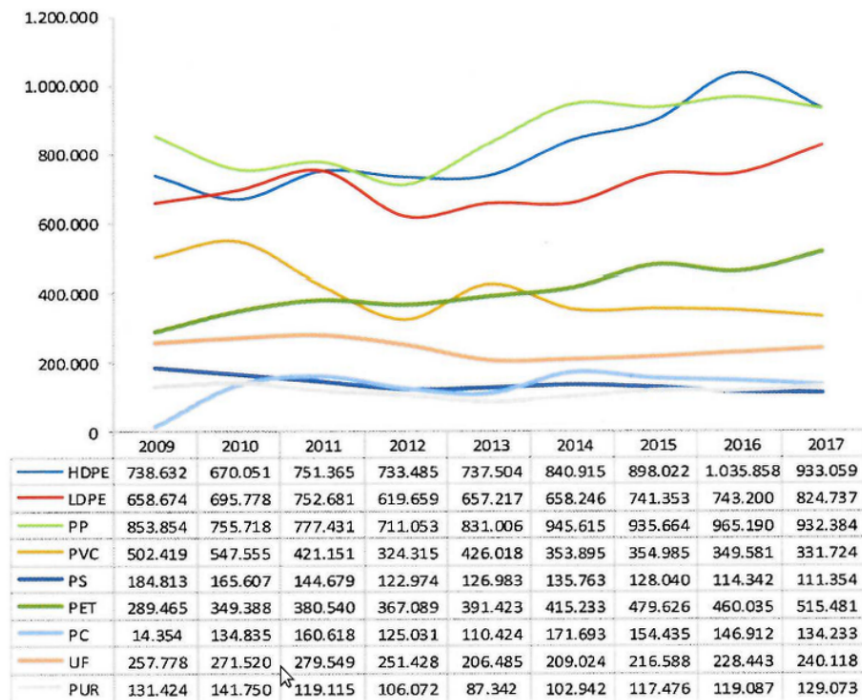


Figura 2.21: Evolució d'utilització de diferents tipus de plàstic [2].

2.7 Tipificació dels problemes de la indústria del plàstic

En aquesta secció s'explicaran breument els problemes més concorreguts en les empreses d'injecció de plàstic. Aquests, ens serviran de base per buscar un sistema que els detecti resolgui de forma eficaç.

- Peça curta: Un dels majors problemes a la indústria del plàstic. Es defineix com a falta de material durant la injecció. A la figura 2.22 podem veure que el material s'ha solidificat abans d'arribar a omplir tota la cavitat. Aquest defecte es pot corregir jugant amb els paràmetres d'injecció com venen a ser la temperatura i la pressió.



Figura 2.22: Peça curta [28].

- Contracció: És una de les característiques materials més importants quan fabriquem un motlle. Cada tipus de plàstic té un coeficient de contracció diferent com es pot observar a la taula 2.1. L'índex de contracció és el tant per cent de reducció de volum entre la peça recent injectada en calent i la peça en fred [29]. És imprescindible tenir-ho en compte durant el disseny de motlle per tal d'aconseguir el dimensional de desitjat i que no quedin petites les peces.
- Xuclets (*rechupes*): Són aquells defectes que presenten les peces per deformació de la superfície. Algunes de les principals causes dels xuclets són:
 - No afegir material a la peça mentre el plàstic es contrau pot provocar petites deformacions entre la paret de la cavitat i la escorça de la peça.
 - Si la peça és estreta del motlle quan encara està calenta amb alguna part no solidificada, es pot crear un estat tensional que provoqui contraccions a la part exterior de la peça.
 - Utilitzar una pressió o a velocitat d'injecció massa baixes també poden provocar aquestes deformacions.

2.7. Tipificació dels problemes de la indústria del plàstic

POLÍMER	DENSITAT (g/cm ³)	TEMPERATURA PROCÉS (°C)	CONTRACCIÓ (%)
ABS	1.05	220-260	0.4 - 0.7
CA	1.29	170-250	0.4 - 0.7
POM	1.42	192-215	2
PMMA	1.18	220-260	0.4 - 0.8
PPO	1.06	250-290	0.4 - 0.7
PA6 /6	1.14	220-280	NA
PC	1.22	280-310	0.7 - 0.8
PES	1.37	330-400	0.6
PBT	1.31	220-270	NA
PPS	1.5 - 2.1	300-360	0.2
PETP	1.38	260-300	1.3 - 1.5
PS	1.05	220-270	0.45
HDPE	0.95	220-280	1.5 - 2
LDPE	0.92	180-280	NA
PP	0.91	250-275	1.2 - 2.2
RPVC	1.3 - 1.6	170-190	0.5 - 0.2
SPVC	1.1 - 1.14	180-200	1.2
SAN	1.08	240-270	0.5
TPU	1.20	180-225	1 - 1.15

Taula 2.1: Valors de contracció de cada tipus de polímer [29].

Una manera de prevenir aquests defectes és directament des del seu disseny, observant l'espessor de la peça i evitar acumulacions de material. La correcta refrigeració del motlle també ajudarà a evitar-ho estant el més a prop de les parets d'espessor més grans.

- **Línia d'unió/partició:** El defecte es produeix en el moment en el que dos fronts de plàstic es troben i s'uneixen. Aquest front genera una zona molt crítica a la peça i s'ha d'evitar que aquest efecte es produeixi. La solució ve donada pel disseny del motlle i el punt d'injecció. Depenent d'on va col·locat el punt, es pot evitar aquest defecte.
- **Rebaves o peça llarga:** Apareixen el pla del tancament del motlle, entre la placa fixe i la placa mòbil. Normalment és degut a la falta de força de tancament del motlle i per tant, durant el procés el motlle s'obre una mica i es produeix el pla de la figura 2.23 al voltant de la cullera. També és possible que no tanqui bé el motlle per desgast o bé degut a una temperatura de fusió massa alta.
- **Estries:** Són ràfegues especialment degudes a cremades, la humitat i l'aire. S'ocasionen quan el plàstic fos és malmès tèrmicament per temperatures massa altes o temps de residència massa llargs. Aquestes, originen productes gasosos de descomposició que són visibles a la superfície.
- **Ràfegues:** Tenen un aspecte molt similar a les estries, ara bé, poden venir per diferents factors. Les ràfegues apareixen periòdicament a les zones més desfavorables normalment de la peça degut a una

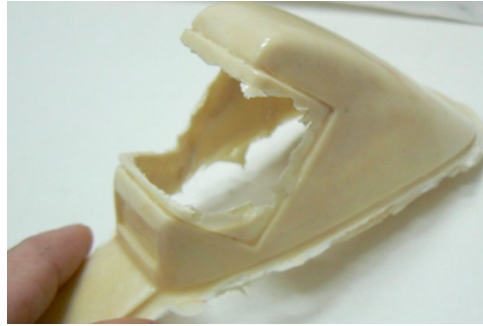


Figura 2.23: Rebava [30].

temperatura de fluid molt a prop del límit superior del procés, o bé un alt contingut de material recuperat el qual ja ha estat fos varies vegades anteriorment. Tenim ràfegues de diferents tipus. Les ràfegues per cremades són degudes principalment per la degradació tèrmica del material per una temperatura del plàstic excessiva o durant un llarg període de temps. Les ràfegues d'humitat apareixen a la superfície de la peça moldejada provocant una superfície normalment porosa i rugosa. Aquestes són provocades per humitats a la superfície del motlle. Les ràfegues per aire en la majoria de casos apareixen com a ràfegues mate, platejades o blanques que es troben a l'última zona d'omplerta de la peça degudes a la falta d'evacuació dels gasos durant la injecció. Finalment trobem ràfegues de color que són principalment provocades per una distribució desigual dels components o diferents orientacions dels pigments.

Possibles solucions:

- Disminuir la velocitat d'avanç del fuset.
 - Reducció de la temperatura del plàstic.
 - Introduir colada calenta.
 - Neteja profunda del fuset.
- Laminació: És un efecte que es produeix a les zones més fines i llargues de la peça. Es caracteritza per una separació per capes d'aquestes zones provocada per la submissió del material fos a un esforç de cisalla mot alt durant la injecció.
 - Efecte Jetting: Jetting és la formació d'un cordó de plàstic fos que entre a la cavitat del motlle des del conducte de colada en un moviment incontrolat tenint molt poc contacte amb la superfície de la paret de la cavitat. Aquest defecte crea una falta d'homogeneïtat, deformacions i tensions locals internes. La causa física del "jetting" es basa en un insuficient flux del polímer fos a la cavitat. Les solucions passen per la reducció del esforç de entalladura, reduir la velocitat d'injecció i col·locar de nou el punt d'injecció.

2.8. Piezoelectricitat

- Porus i bombolles: Aquells espais buits que es formen a la peça en molts casos en parets gruixudes com a conseqüència de la contracció natural del material.
- Efecte dièsel: És aquell defecte en el qual s'aprecien taques negres a la superfície de la peça moldejada degut a un problema de falta d'expulsió de gasos. L'aire atrapat a l'interior del motlle no és capaç de trobar la sortida de gasos i es queda estancat en una zona. La pressió que exerceix el plàstic comprimeix aquest aire i en fa augmentar molt la temperatura, fet que provoca unes temperatures molt altes que són capaces de cremar el material.
- Taques negres: Apareixen punts negres a la superfície de la peça deguts a la degradació tèrmica del material per un sobreescalfament del plàstic, o bé també està estudiat que les altes taxes de tall causades per la contrapressió i velocitat de superfície del fuset són inadequades. La solució pot ser canviant paràmetres d'injecció. A més a més es poden utilitzar materials especials per tal de netejar bé el fuset quan realitzem canvis de material i així evitar la residència del material anterior al fuset quan estem injectant amb un nou material potser amb paràmetres d'injecció diferents.

2.8 Piezoelectricitat

La paraula piezoelectricitat deriva del grec 'piezein', que significa «esprémer» o «estrènyer». La piezoelectricitat és la capacitat de certs cristalls de generar una diferència de potencial quan se'ls sotmet a una deformació mecànica. En els materials piezoelèctrics, es transforma l'energia mecànica en energia elèctrica o a l'inversa gràcies a l'efecte piezoelèctric. Aquest, és degut a la separació espontània de càrrega dins de les estructures cristal·lines i sota unes condicions específiques. Quan s'aplica una pressió sobre un material piezoelèctric, les càrregues elèctriques es situen a les cares oposades del material tal i com s'observa a la figura 2.24. Aprofitant aquesta propietat d'aquests cristalls i amb una correcta transformació de dades, es pot aconseguir valors de temperatura o pressió que ens seran útils en els nostres processos. Quan aquestes es desplacen és genera una energia potencial. L'amplitud i a la freqüència del senyal generat és directament proporcional a la deformació mecànica de material. La càrrega només es produeix quan hi ha una compressió o descompressió del material, és a dir que sota pressió constant, no es produeix aquest efecte [31].

2.8. Piezoelectricitat

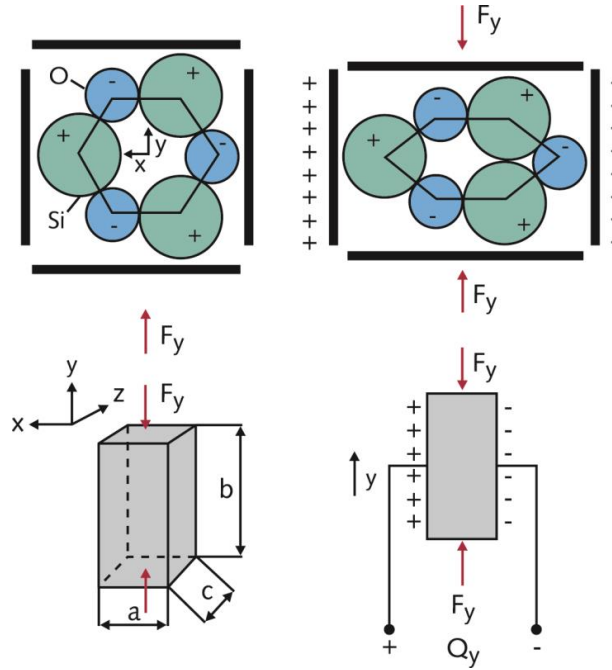


Figura 2.24: Efecte piezoelectric [31].

Les equacions que descriuen un material piezoelectric són les següents:

$$\gamma = \frac{\sigma}{Y} + d \times E \quad (2.3)$$

$$D = \epsilon \times E + d \times \sigma \quad (2.4)$$

on γ és la deformació mecànica, σ és l'esforç mecànic, Y és el mòdul de Young, d és el coeficient de deformació piezoelectric, E és el camp elèctric, D és el desplaçament elèctric (densitat de càrrega) i ϵ és la constant elèctrica [32].

Un element piezoelectric acostuma a representar-se com una font de tensió amb un condensador i una resistència en sèrie. La tensió de la font V_{oc} , és la tensió en circuit obert en el piezoelectric i ve definida a partir l'equació (2.3) quan la densitat de càrrega és igual a zero $D = 0$ obtenim l'equació (2.5) [32]

$$V_{oc} = -\frac{d}{\epsilon} \times \sigma \times t = g_{3n} \times X_n \times t. \quad (2.5)$$

El coeficient de tensió g_{3n} té dos subíndexs. El primer indica l'eix elèctric i el segon el mecànic. Com que el material és prim, els elèctrodes estan situats només a les cares superior i inferior de la làmina. Per tant, l'eix elèctric sempre es transfereix a través del gruix del material ($n=3$), és a dir, la direcció 3 de la

2.8. Piezoelectricitat

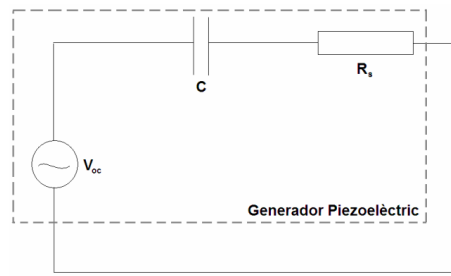


Figura 2.25: Circuit equivalent d'un element piezoelèctric [32].

figura 2.26. En canvi, l'eix mecànic pot ser qualsevol dels tres (1, 2 o 3) perquè la pressió pot ser aplicada en qualsevol d'aquests. X_n és la pressió aplicada en la direcció n i t és el gruix de la làmina [33].

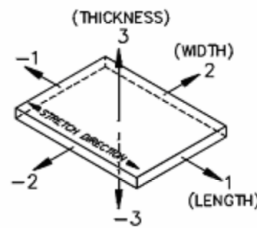


Figura 2.26: Classificació dels eixos [32].

Els materials que presenten efecte piezoelèctric són els següents de la taula 2.2. També el podem trobar en els tendons, ossos o membranes de les dents. Segons l'aplicació que es vol realitzar, s'utilitzarà un tipus o altre de material. En el nostre cas, el quarz és el material més utilitzat com a sensor piezoelèctric [34], ja que presenta unes excel·lents propietats mecàniques (alta rigidesa), és estable d'avant d'altres temperatures i té unes propietats elèctriques estables.

MATERIAL PIEZOELÈCTRIC	CONSTANT DIELÈCTRICA	d_{33} (10^{-12} m/V)	g_{33} (10^{-3} Vm/N)	Densitat (g/cm ³)
BaTiO ₃	1,2	149	14,1	5,55
KNTA	170	62	40	7,05
K ₃ B	215	70	37	7,65
PZT-2	450	152	38,1	7,6
PZT-4	1300	289	26,1	7,5
Lithium sulfate	10,3	15	165	2,06
Quarz	4,5	2,3	50	6,82
PVDF	12	33	339	1,78

Taula 2.2: Taula de valors de piezoelectricitat [32].

Capítol 3

Plantejament del problema

Els darrers anys, les grans multinacionals han incrementat exponencialment els criteris de qualitat. Les empreses s'han vist doncs, obligades a dissenyar sistemes de control més exigents sobre el seu procés. Durant la meua incorporació al món laboral, he observat que un dels problemes principals que tenen les empreses d'injecció és la detecció de peça curta. En aquesta secció mostrem com s'ha dissenyat un motlle al qual s'han introduït sistemes de sensòrica per tal de detectar aquest defecte. El disseny també permet detectar problemes de peça llarga i observar a temps real què succeeix a l'interior d'un motlle.

Un dels objectius més importants de les empreses de producció és la completa automatització del procés, alhora que sigui possible controlar i supervisar el procés remotament. La indústria que permet aquest control s'anomena indústria 4.0. En el nostre projecte s'emmarca en aquesta línia, ja que l'utilització dels sensors piezoelèctrics permeten precisament aquesta automatització i control remot. A més a més ens permetran evolucionar cap a un sistema de *papers zero* on passem els registres manuals a automàtics, amb un tractament de dades molt més eficient i controlat.

3.1 Problema peça curta

Com comentat anteriorment, la peça curta és un dels principals problemes al sector de la indústria d'injecció de plàstic, i és dels que genera més reclamacions dels clients per insatisfacció visual, estètica, no compliment de planell, problemes de funcional, problemes de seguretat en cas de peces d'automòbil per exemple. El fenomen de peça curta es genera quan la cavitat del motlle no s'ha omplert correctament en la seva totalitat i provoca una peça dolenta. Els alts criteris de qualitat generen costos de qualitat molt elevats en cas que una d'aquestes peces arribi al client final. Per corregir aquest efecte s'han d'implementar mesures que el detectin i es puguin corregir durant el procés productiu. El fet d'automatitzar és la manera

3.1. Problema peça curta

de seguir essent competitiu ja que l'automatització no és un procés senzill i es requereix d'un caràcter tècnic que en general no es té fora del món occidental. A més a més, ha permès implementar un control molt més exhaustiu evolucionant d'una manera segura i controlada del procés.

La peça curta pot ser provocada per diversos factors durant el procés que influeixen en el resultat final:

- Una quantitat insuficient de càrrega de material en el plastificador és la causa més típica.
- Quan la temperatura de fusió del material és lleugerament més baixa a la desitjada.
- Una temperatura de motlle insuficient, combinada amb una velocitat d'injecció lenta, el qual es refreda el flux abans de poder omplir la cavitat.
- Si la pressió durant la injecció és baixa, pot passar que tampoc omplim la peça completa. En aquest cas, haurem de plantejar si la unitat d'injecció que estem utilitzant és la necessària o en necessitem una de més gran.
- Es possible que una falta de sortida de gasos en el motlle faciliti la formació de bombolles d'aire en els punts més allunyats. Són per tant necessàries adequar sortides de gasos per solucionar aquest problema.
- Quan el conducte de la colada freda és molt estret, pot passar que el material es refredi abans d'omplir la totalitat de la cavitat. en aquest cas, hem de augmentar el diàmetre del canal i disminuir la pressió d'injecció requerida.
- En el cas de càmera calenta, si la temperatura de la boquilla és més petita del necessari, el material no fluirà i com a resultat, no omplirà amb la seva totalitat la cavitat.

Capítol 4

Solució aportada

La sol·lució que presento és la instal·lació d'un sistema piezoelèctric al motlle que dissenyaré i es fabricarà per observar el comportament del plàstic. Primerament definiré la peça sobre la qual faré l'estudi i els motius pels quals es tria d'aquesta manera. A continuació realitzaré un estudi de mercat de quins tipus de sensors hi ha al mercat i després faré un *benchmarking* (comparació d'empreses dedicades al sector) que ens poden subministrar sensors desitjats. Aquests sensors requereixen d'un tractament de senyal amplificat per poder tractar amb les seves dades. Explicaré breument el funcionament d'un amplificador i determinaré quin tipus d'amplificador utilitzarem. Finalment amb aquest estudi, determinaré la empresa que ens aportarà els sensors juntament amb totes les dades tècniques que em permetran dissenyar el motlle.

Per dissenyar un motlle d'injecció procuraré utilitzar elements estandaritzats per tal d'aconseguir abaratir costs. També realitzaré un *benchmarking* i escolliré juntament amb l'empresa els proveïdors més adients. La figura que fabricaré serà molt senzilla, i els estudis que es facin en ella ens permetran ser la base per a aplicar aquests sensors a motlles més complexes i d'altres produccions. També calcularé els paràmetres bàsics per tal de saber quin temps de refredament aproximat tindrà la nostra peça i a quina màquina d'injecció haurà d'anar (en tonelades). Amb el recull de resultats determinaré quina ha estat la resposta dels sensors al nostre motlle i si aconseguim controlar el procés evitant problema de la peça curta.

4.1 Disseny de la peça

En el nostre cas particular, pretenem dissenyar una peça senzilla que ens permeti dur a terme l'estudi amb el sensor piezoelèctric i que no sigui complexa de fabricar. Dissenyaré una peça rectangular prou gran i gruixuda per tenir espai per a realitzar diferents "gravats" de diferents tipus (electroerosió, penetració, fil,

4.2. Sistemes piezoelèctrics

etc.) perquè l'empresa pugui aprofitar-la i treure'n profit. La peça és una placa rectangular de 360mm de llarg per 100mm d'ample per 2mm de gruix. La placa es veu representada a la figura 4.1. La senzillesa d'aquesta, permet destinar pocs recursos al seu mecanitzat ja que és una de les parts més cares i laborioses de la construcció d'un motlle.

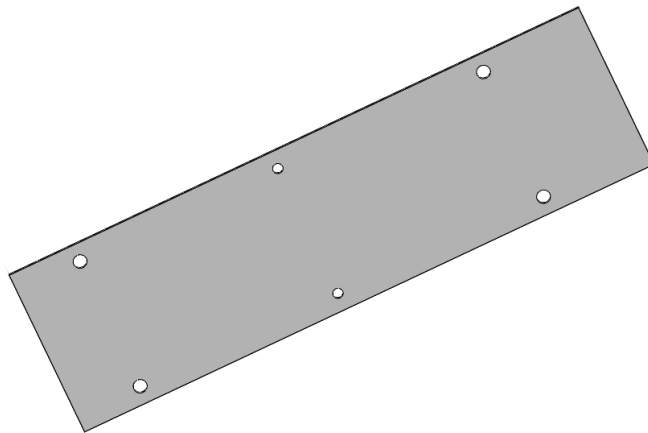


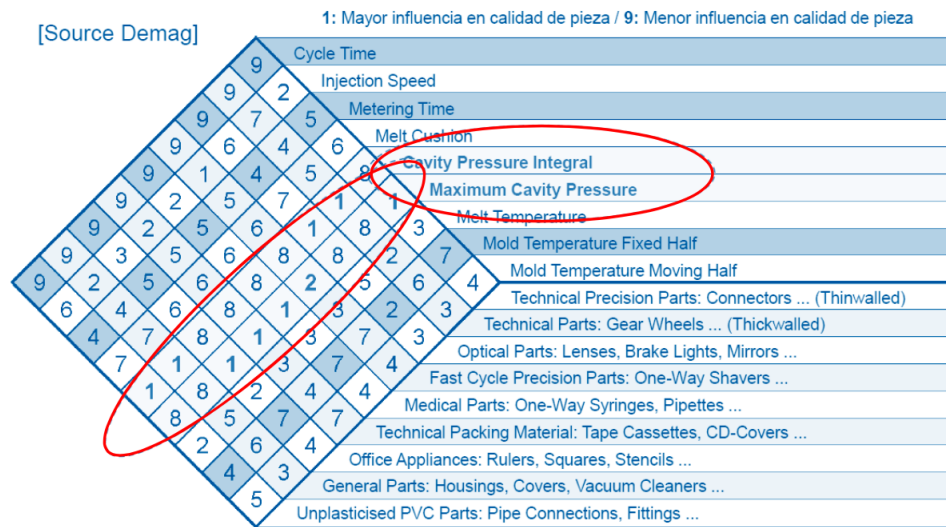
Figura 4.1: Model de peça sobre la qual es farà l'estudi

4.2 Sistemes piezoelèctrics

4.2.1 Introducció

Els sistemes piezoelèctrics són els escollits implementar en nostre conjunt d'injecció ja que d'una manera molt precisa ens recolliran les dades de la injecció mitjançant l'efecte piezoelèctric. El tractament adequat de les senyals emeses per aquests sistemes són els que ens permetran detectar o corregir defectes com el de la peça curta. A la taula 4.1 es presenten els diferents sensors que es poden introduir al procés per tal de detectar una peça curta i la seva relació directa amb el tipus d'aplicació específica. Els sensors utilitzats habitualment són de temps, de velocitat, de pressió o de temperatura. Segons la aplicació final en la qual o volem utilitzar farem servir un tipus de sensor o un altre. A l'escala de l'1 al 9 es veu com la pressió i la pressió màxima obtinguda dins de la cavitat són els sensors més reactius davant la qualitat d'una peça. Els sensors de pressió són doncs, aquells que permeten detectar més tipus de defectes respecte els altres. Són capaços mitjançant la gràfica Pressió/Temps obtinguda durant el cicle d'injecció de detectar problemes com: peça curta, peça llarga, problemes superficials, rebaves...

4.2. Sistemes piezoelèctrics



Taula 4.1: Taula d'influència de qualitat en peça acabada [15].

4.2.2 Sensors de pressió

Els sensors escollits per al nostre projecte són els sensors de pressió tal i com es justifica a la secció anterior. Aquests, transformen una senyal mecànica en elèctrica. El senyal que obtenen els sensors de pressió és de l'ordre de picocoulombs (pC) [15] durant la injecció. Hi ha tres tipus de sensors al mercat que permeten extreure la pressió de maneres diferents.

Sensor amb mesura directa a la cavitat: és un sensor que es col·loca a la part posterior o fixa del motlle en contacte directa amb la figura. És el sensor que més utilitzat amb un 50% del mercat [15] i el de major precisió de mesura. Duu a terme una mesura directa i no hi influeix cap factor extern. La figura 4.2 mostra la col·locació del sensor en el motlle. La figura 4.3 mostra el moment en el que el fluid està arribant al sensor i aquest començaria a detectar la pressió.

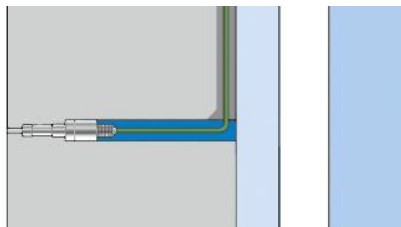


Figura 4.2: Sensor de mesura a la cavitat [15].

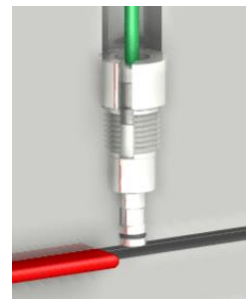


Figura 4.3: Instant en el que el fluid arriba al sensor [15].

4.2. Sistemes piezoelèctrics

Sensor amb mesura indirecta: s'instal·la amb un fals expulsor, que simplifica la instal·lació i el manteniment. No obstant, la mesura és indirecta i menys precisa que la mesura directa a la cavitat. La figura 4.4 mostra la manera en la qual es capta la pressió procedent de la cavitat. Aquest tipus de sensor és de més fàcil manteniment ja que està col·locat a l'exterior del motlle però és menys precís tècnicament que el primer.

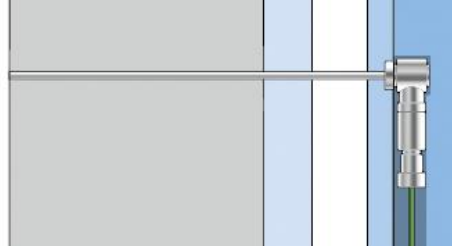


Figura 4.4: Sensor de mesura indirecta [15].

Sensor de mesura sense contacte: existeix un tipus de sensor que segons la mesura de la deformació del motlle durant la injecció és capaç de calcular la pressió interior del motlle. Aquest sensor és molt nou al mercat i s'utilitza sobretot per a productes de bellesa el qual la qualitat superficial és un dels requisits fonamentals del producte. Aquests se situen a l'interior del motlle i són molt complexes de mantenir. A la

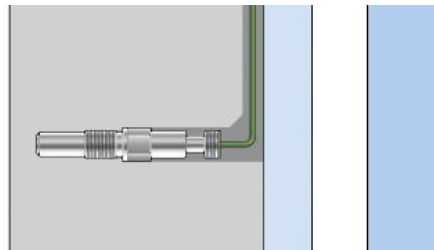
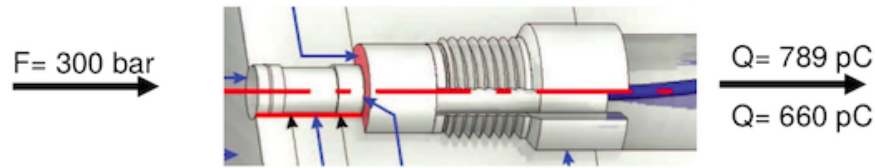


Figura 4.5: Sensor de mesura sense contacte [15].

vegada, els diferents tipus de sensors que permeten extreure informació tenen una característica principal que determinarà en gran part la precisió de la mesura i aquesta és la sensitivitat. Quan més sensible és un sensor, més car i més precís és aquest. A la figura 4.6 podem veure gràficament com directament de la sensitivitat del sensor el resultat obtingut de la mesura canvia.

Actualment hi ha diverses empreses que es dediquen als sensors de pressió per a motlles d'injecció. Una de les pioneres és Kistler [15], però també trobem empreses com Ellab o HBM. En aquest estudi treballarem amb Kistler ja que actualment és proveïdor de la empresa en la qual treballo. Kistler disposa de diversos sensors segons el diàmetre del sensor, el més petit és d'1mm i el més gran a 6mm, que segons l'aplicació, s'utilitza un tipus o un altre. En el nostre cas utilitzarem els sensors de 1mm de diàmetre per tal

4.2. Sistemes piezoelèctrics



300 bar \rightarrow Sensitivity 2,200 pC/bar = 660 pC
300 bar \rightarrow Sensitivity 2,630 pC/bar = 789 pC

Figura 4.6: Transformació de bars a pC al sensor piezoelèctric [15].

de poder-los reutilitzar després en els motlles de l'empresa d'alta productivitat. L'avantatge principal d'aquest sensor tan petit és que pràcticament no deixa cap marca a la peça i ocupa menys espai que els altres. Utilitzarem el sensor *Type 6183C* que les característiques principals del qual es troben resumides a la taula 4.2. La fitxa tècnica completa d'aquest sensor la trobarem al annex F. Cal destacar la seva alta sensibilitat de 2,5pC/bar i les altes temperatures a les qual pot treballar el sensor (fins a 240°C).

Technical Data

Range	bar	0 ... 2 000
Overload	bar	2 500
Sensitivity	pC/bar	$\approx 2,5$
Linearity, all ranges	% FSO	$\leq \pm 1$
Operating temperature range		
Mold (Sensor, cable, connector)	°C	0 ... 200*
Melt (on sensor front face)	°C	<450
Insulation resistance		
at 20 °C	TΩ	>10
at 200 °C	TΩ	>1

* During machine down-time, the mold temperature may be allowed to rise to 240 °C without damaging the sensor.

Taula 4.2: Característiques principals del sensor 6183C [15].

4.2.3 Posició del sensor en el motlle

Un punt crucial en el disseny del motlle és el posicionament del sensor i la connexió fins al amplificador ja que el cable ha d'estar d'anar per l'interior del motlle per aconseguir una caixa de faraday per evitar interferències. Els sensor ha d'estar col·locat a la zona la qual extregui el màxim de dades durant el major temps possible. Si posicionem el sensor molt lluny del punt d'injecció, les dades que extraurem es

4.2. Sistemes piezoelèctrics

detectaran qual el fluid hi arribi i haurem perdut informació per el camí. Si el posicionem molt a prop del punt d'injecció, trobarem un flux turbulent que ens desvirtuarà les dades, i, invalidarà els resultats (figura 4.7). La nostre desició ha estat col·locar-lo a 50mm del punt d'injecció, d'aquesta manera el trobem a prop del punt d'injecció, però ja amb un fluxe laminar. D'aquesta manera obtenim resultats des del moment que el fluid ha omplert la primera tercera part de la cavitat.

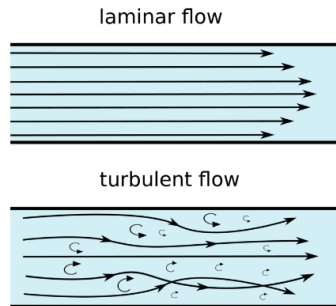


Figura 4.7: Flux laminar vs turbulent [35].

La figura 4.8 es veu gràficament la posició del sensor a la placa (a 50mm del punt d'injecció) per realitzar l'estudi, les distàncies exactes estan determinades als planells a l'annex C. L'estudi es realitza per tal d'analitzar i extreure conclusions sòlides del procés a partir d'un motlle d'injecció senzill per aplicar-ho a la resta de motlles de l'empresa.



Figura 4.8: Col·locació dels sensor a la figura.

4.2.4 Senyal - Amplificadors

Un amplificador és el dispositiu que mitjançant la utilització d'energia, magnifica l'amplitud d'un valor. En el cas concret dels sensors Kistler, van connectats a un amplificador que augmenta la senyal de pC a Volts. El nostre motlle portarà introduït un sistema d'amplificadors Como-Neo Type 5887A [15] (les dades tècniques estan presentades a l'apèndix F) el qual ens transformarà les dades extretes del motlle a

4.2. Sistemes piezoelèctrics

la pantalla incorporada connectada al amplificador. La pantalla d'aquests amplificadors permetrà visualitzar d'una manera molt gràfica i intel·ligible les dades extretes. A més a més, guardarà un històric de 50.000 cicles a la seva memòria i serà capaç de avaluar l'estabilitat del procés productiu. Té opcions extremes com venen a ser la predicció de possibles aturades per problemes de qualitat o de motlle o bé un autoajustatge continu segons les dades que va extraient de les boquilles de càmera calenta. L'amplificador té dues bandes de connexió, una que rep la informació del motlle i l'altre que ens la transforma a la pantalla:

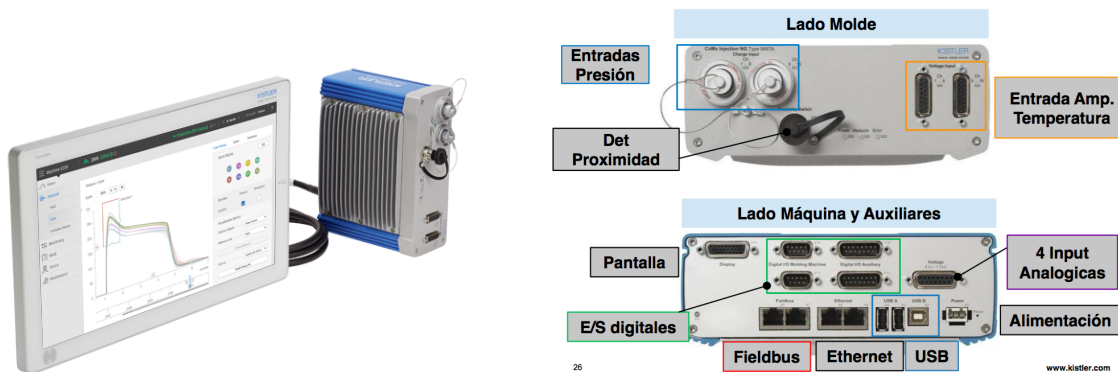


Figura 4.9: Amplificador ComoNeo [15].

Figura 4.10: Dalt: Costat on es realitzen les connexions del motlle. Baix: Costat on es realitzen les connexions de la màquina [15].

La part del motlle conté les entrades de pressió que són les que s'utilitzaran en el nostre cas, i altres entrades que no s'utilitzaran ja que no hem col·locat sensors de temperatura o proximitat. Pel que fa a la part de la màquina, tenim sortida a la pantalla, el qual és imprescindible per a poder visualitzar les dades, el cable d'alimentació i un cable d'Ethernet. Aquest, és el que ens permetrà connectar-nos remotament per veure remotament el procés i controlar-lo a distància. Les altres entrades no les utilitzarem en aquest projecte. Una de les parts fonamentals d'aquest sistema, és la visualització a temps real la corba Pressió-Temps, la qual cosa permet determinar el punt exacte en que s'ha acabat de refredar la peça a l'interior del motlle, aconseguint així un temps de cicle d'injecció més curt. Addicionalment, aquest amplificador (ComoNeo) té capacitat per autoregular el procés d'injecció autonomament en el cas dels motlles de canal calent, augmentant o disminuint la temperatura de la boquilla que dona pas al fluid. Aquests sistemes permeten reduir la quantitat de peces dolentes, ajustar el procés i, enviar totes les dades necessàries mitjançant la xarxa a un supervisor. L'amplificador és l'encarregat de determinar si una peça és bona o dolenta. Aquest control el farà basant-se en les gràfiques de pressió-temps el qual com hem comentat anteriorment. Serà capaç de determinar les variacions durant la injecció i descartar les peces correctes (OK) i defectuoses (NOK).

4.2. Sistemes piezoelèctrics

4.2.5 Connexions

Les connexions entre els sensors i el amplificador es poden fer de diferents maneres, però en el nostre cas utilitzarem la connexió recomanada per Kistler on els sensors van connectats amb un únic cable a un multicanal i aquest multicanal va connectat al amplificador. Un Multicanal és l'element que rep les informacions dels diferents sensors i les centralitza per enviar després al amplificador. A més a més fa una funció molt important, és l'encarregat de crear la diferència de potencial amb el cable procedent del sensor, ja que fa la funció de terra pel fet d'estar collat físicament al motlle. El recorregut que fa el cable per l'interior del motlle és sempre envoltat de l'acer que constitueix el motlle ja que d'aquesta manera s'aconsegueix crear la caixa de faraday esmentada anteriorment i que evitarà la generació d'interferències a la senyal. S'utilitzarà un multicanal 8 channel 1710B tot i només tenir una entrada senyal ja que d'aquesta manera es podrà reaprofitar pels motlles de l'empresa que tenen normalment més de 4 cavitats. El cable que s'utilitzarà entre el multicanal i l'amplificador és el cable Multichannel 1995A que permet transmetre 8 senyals i està perfectament aïllat de interferències.



**8-channel
Type 1710B..**

Figura 4.11: Element multicanal utilitzat per la connexio entre sensor i amplificador [15].

4.2.6 Detecció de defectes

Els sistemes de pressió Kistler detecten els defectes a les peces segons les diferències que s'observen a la corba de pressió temps que es genera durant la injecció. A la següent figura 4.12 podem veure tres escenaris: el primer cas observem una peça curta deguda a una pressió màxima massa baixa, en el segon cas es poden observar problemes superficials deguts a una baixa pressió de manteniment o bé massa breu. Finalment en el tercer cas es detecta una peça llarga amb rebaves degudes a una pressió d'injecció massa alta [15]. Nosaltres estudiarem de quina manera es comporten les nostra peça i quines corbes s'obtenen.

4.2. Sistemes piezoelèctrics

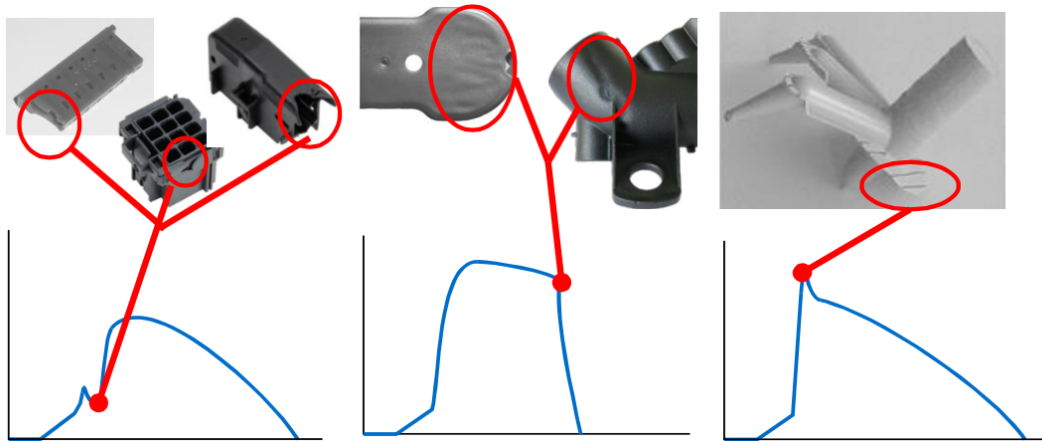


Figura 4.12: Tres problemes detectables pel sensors Kistler. a) peça curta b) problema superficial c) rebava [15].

Resum de components: A la taula 4.3 hi ha resumits tots els components que formaran part de la sensòrica que s'instaurarà en el nostre motlle. Aquests són tant els sensors com les connexions que es fan a través d'ells.

COMPONENT	Tipus	QUANTITAT
Sensor de pressió	6183C	1
Cable connexió (Sensor - Multicanal)	1839	1
Multicanal 8 chanel	1710B	1
Amplificador ComoNeo	5887A	1
Connexió fisher 103 (Multicanal-Amplificador)	1995A	1
Cable de corrent (Amplificador)	5781A5	1
Cable de Ethernet (Amplificador)	1200A49	1
Cable de visualització (Pantalla Amplificador)	5637A1	1

Taula 4.3: Taula resum de components per la sensòrica.

4.3 Disseny del motlle

4.3.1 Introducció

A l'estat de l'art s'han tractat diversos tipus de motlle i les seves principals característiques. En aquesta secció definiré els elements principals del motlle i les seves característiques més importants, així com les sortides de gasos de la peça, el circuit de refrigeració o el gruix de les plaques del motlle. He tingut en compte alguns consells d'experts en motlles i tècnics dels sensors.

El principi que ens ha guiat a l'hora de fer el disseny, és la utilització de elements estàndards del mercat per tal de tenir una producció ràpida i senzilla del motlle a uns preus competitius. He analitzat els principals fabricants de motlles i he triat el més convenient donat el meu entorn laboral.

En aquesta secció també calcularé els paràmetres bàsics necessaris per determinar quina màquina d'injecció podrem utilitzar el nostre motlle, figura 4.13 quin temps aproximat de refredament obtindrem i de quina manera influeixen aquests paràmetres en el nostre disseny.

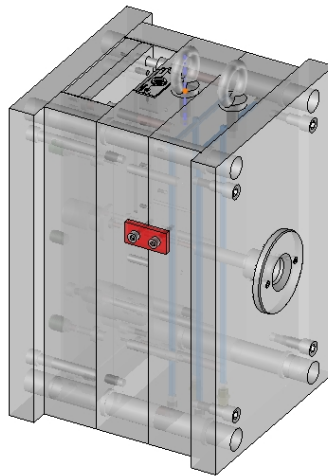


Figura 4.13: Motlle figura.

4.3.2 Càlculs

Número de Cavitats: He decidit dissenyar un motlle amb una única cavitat on es el sensor que ens donarà la informació necessària per als resultats. La baixa productivitat i la seva simplicitat ens facilita les tasques de disseny de motlle a més de necessitar únicament un sensor de pressió. La decisió ha estat consensuada amb les necessitats de la empresa ja que necessitaven una placa on poder fer diferents gravats per realitzar testos interns en diferents materials.

4.3. Disseny del motlle

Temps de refredament: El temps de refredament es basarà en el material a utilitzar i les temperatures de motlle, material i gruix de la peça. En el cas particular del nostre estudi, utilitzarem el Polipropilè (PP) com a plàstic per injectar, ja que és un grau que podem aconseguir amb facilitat a l'empresa on treballo. Utilitzaré el Hostacom PPR 1042 on a l'annex D hi trobarem tota la informació detallada del fabricant. Entre les mes destacades trobem la contracció del material (0,18%) en el cas particular de gruixos de 2mm com la nostre placa, la temperatura de processament (235°C), la densitat a 23°C (0,9g/cm³) i la fluidesa (4g/10min) segons la norma ISO 1133-1 que equival a la norma ASTM esmentada a la secció 2.6. Per tal de tenir una idea del temps que es tardarà a refredar-se la nostre peça utilitzarem la gràfica 4.24 proporcionada per el fabricant de polipropilè la qual amb facilitat veiem que el nostre temps de refredament és d'aproximadament uns 24s. De la figura 4.24 podrem extreure el temps de refredament aproximat per al nostre procés utilitzant les variables donades pel fabricant (temperatura de motlle (38°C), Temperatura de fluid (235°C) i temperatura a la qual s'extreu la peça (50°C)). El temps de refredament aproximat serà de 22-24s.

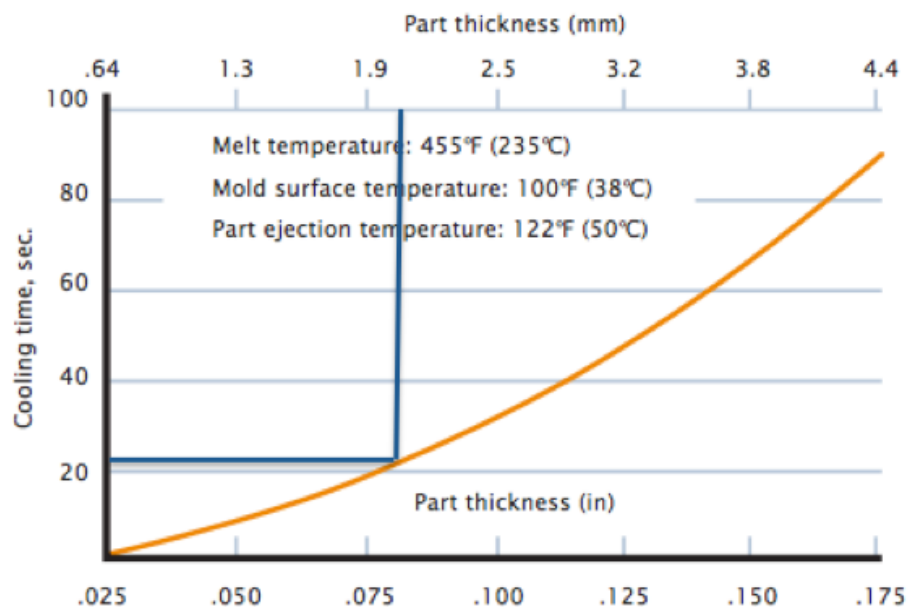


Figura 4.14: Temps de refredament en funció de l'espessor de la peça (vegeu annex D).

Força de tancament de la màquina

Un mètode ràpid per calcular la força de tancament és multiplicar la superfície projectada de la cavitat per la pressió que exerceix el material a la cavitat. Aquests valors són empírics i ens els dona el fabricant del material. En el cas del Hostacom PPR 1042 la pressió mitjana que es determina és de 0,28 Tn/cm² = 280Kg/cm² per gruixos de peça majors a 2 mm (valors extrets de l'annex D). Per obtenir aquesta dada

4.3. Disseny del motlle

en bars, hem de fer la conversió $1 \text{ bar} = 1,02 \text{ Kg/cm}^2$ [3], per tant, $280 \text{ Kg/cm}^2 \times 1,02 \text{ Kg/cm}^2 = 285,6$ bars de pressió mitjana. Tenint en conte que l'àrea de la nostre peça és de 360 cm^2 esmentat a la secció 4.1, la força de tancament és: $360 \text{ cm}^2 \times 0,28 \text{ Tn/cm}^2 = 100,8 \text{ Tn}$. La màquina a utilitzar de la qual disposem a l'empresa on he realitzat l'estudi és una JSW (<https://www.jsw.co.jp>) de 100 Tn.

4.3.3 Estudi d'empreses de portamotlles

Un portamotlles és el conjunt d'elements necessari per a la fabricació d'un motlle. El fabricant del motlle és el motllista, i és l'encarregat de mecanitzar i muntar totes les parts. Les empreses més conegudes que realitzen portamotlles són Meusburger, Hasco i Royme. En quant a preus totes tres estan a la mateixa línia, però Hasco i Meusburger tenen una base de dades que permet descarregar els elements normalitzats molt fàcilment. Amb la introducció de les cotes bàsiques (alt, ample, gruix i qualitat de material), es genera un arxiu CAD amb tots els elements auxiliars que pots descarregar directament de la seva pàgina web. Utilitzarem la empresa Hasco per les plaques principals i Meusburger pels elements auxiliars.

4.3.4 Sistema d'injecció - colada freda

Hem vist a l'estat de l'art que podíem tenir sistemes de colada freda i de colada calenta amb les seves implicacions econòmiques i de qualitat de peça. En aquest cas particular s'utilitzarà un sistema de colada freda ja que el cost econòmic que té la implementació de la càmera calenta és molt gran per la producció que tindrà aquest motlle dins l'empresa. A més a més, s'utilitza únicament de forma interna i per tant no s'envia a cap client. Aquest motlle s'utilitzarà per realitzar tests de gravat i es fabricaran puntualment poques quantitats. En aquest cas, no requerim d'equip d'extracció de colada ni de triturat ja que la inversió d'aquests equips davant del material que perdrem en les peces que es fabricaran no justifica la inversió.

4.3. Disseny del motlle

4.3.5 Costat d'injecció

El costat d'injecció és aquell que està en contacte amb la màquina d'injecció i amb la part fixa del motlle. Els seus components són el disc centrador, la placa porta-figures, la placa d'injecció i la boquilla.

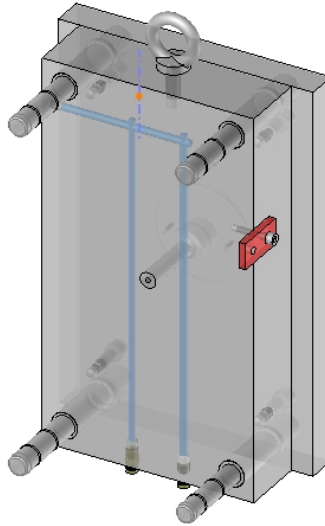


Figura 4.15: Costat d'injecció.

Disc centrador: El disc centrador permet allotjar la boca de la màquina d'injecció per una banda i per l'altra la boquilla que connecta l'entrada del material amb el canal de colada. Aquest té quatre forats on es col·loquen els elements de fixació que uneixen el disc amb la placa fixa. S'ha triat un disc estàndard de Meusburger amb la referència E 1380 tal i com es veu a la figura 4.16.

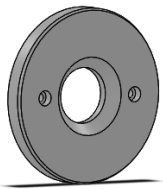


Figura 4.16: Disc centrador E1380.

4.3. Disseny del motlle

Placa d'injecció: És la placa que subjecta tot el costat d'injecció. És aquella que està en contacte i fixada a la màquina i que a la vegada fixa la placa portafigures i el centrador. Aquesta és una placa estàndard de Hasco amb nomenclatura K11/246x446x36/1.1730 representada a la figura 4.17. Les dimensions d'han escollit amb un criteri econòmic, tan petites com puguin ser per el nostre motlle i suficientment gruixuda per encabir la boquilla d'injecció.

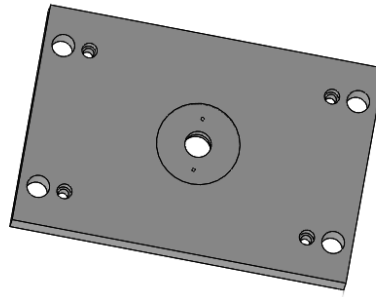


Figura 4.17: Placa d'injecció K11.

Placa porta-figures - cavitat: És la placa que està en contacte amb la part mòbil del motlle quan aquest es tanca i és la que dona una part del negatiu de la figura desitjada. En el nostre cas, és la mateixa placa estàndard de Hasco K20/246x446x76 / 1.1730 en la part d'expulsió com la part d'injecció. Aquesta és l'encarregada de realitzar el negatiu de la figura durant la injecció. En aquesta placa l'empresa hi dibuixarà els gravats per per realitzar i proves tests interns.

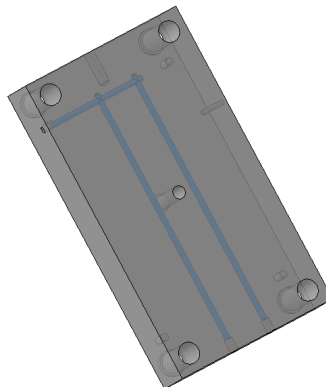


Figura 4.18: Placa portafigures - Costat injecció.

La placa disposa de forats roscats i del circuit de refrigeració dissenyat anteriorment. Als laterals se li realitzaran els forats d'entrada de l'aigua de refrigeració així com els conductes que travessen la placa

4.3. Disseny del motlle

per a circular el líquid. També es realitza un forat roscat per a poder col·locar l'armella que servirà pel transport del motlle a dins de la fabrica. Com podem veure a la placa de la cavitat, hi trobem les sortides de gasos i punt d'injecció marcat. Aquestes són molt importants per evitar que els gasos s'acumulin a la nostre figura. Tenen un gruix de 0,03mm [11] d'alçada per tal de permetre l'alliberació de gasos però no l'escapament del plàstic.

La refrigeració és una part molt important del motlle i s'ha de dissenyar sencera. He dissenyat un sistema de refrigeració molt senzill ja que la geometria de la peça també ho és com es veu a la figura 4.19.

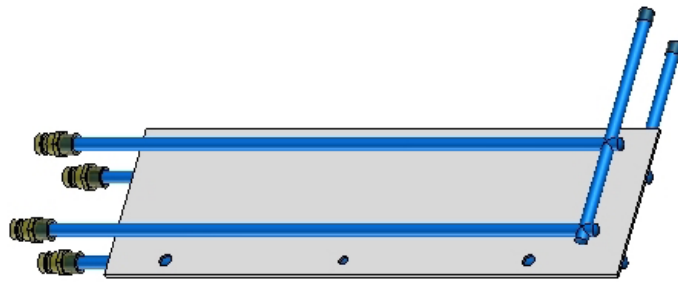


Figura 4.19: Circuit de refrigeració.

Consta de dos canals paral·lels col·locats a cada costat de les plaques porta-figures que compleixen les especificacions donades pel material a utilitzar com indica l'annex D.

- Diàmetre d'entre 8-14mm.
- Distància respecte la figura 2 vegades el diàmetre del canal.
- Distància entre canals de refrigeració de 3 a 5 vegades el seu diàmetre.

Boquilla-boqueta - bebedor: La boquilla és un element cònic a través del qual el fluid s'introduirà al motlle. És un element també estandaritzat de Meusburger amb nomenclatura E 1625. Triarem les dimensions per les quals ens hi càpiga en el motlle d'injecció. El criteri de selecció ha estat triat juntament amb els experts de l'empresa, ja que actualment utilitzem aquestes boquilles en altres motlles.

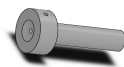


Figura 4.20: Boquilla E 1625.

4.3.6 Costat d'expulsió

El costat d'expulsió és la part mòbil de la màquina i és l'encarregat de tenir tots els sistemes d'expulsió necessaris per desmoldejar la figura un cop injectada i refredada. El costat d'expulsió és una mica més complexe que el costat d'injecció ja que conté els expulsors i el sensor Kistler. Les parts que constitueixen la part mòbil són la placa base, la placa expulsora, els expulsors, els regles separadors, la placa porta-figures, el sensor kistler amb el multicanal. Addicionalment contindrà 2 plaques d'acer i un 'casquillo' que permetrà tancar totalment el circuit pel qual passa el cable del sensor kistler aconseguint una caixa de faraday.

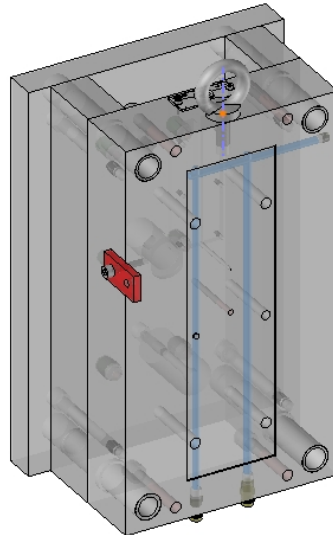


Figura 4.21: Costat d'expulsió.

Placa base: És la placa situada a la base del motlle i que té la funció d'unir les parts mòbils del motlle i de la màquina d'injecció. Aquesta és la placa que es subjectarà a la màquina, però en diferència amb la part fixa, aquesta no disposa d'allotjament per la boquilla, però sí per els expulsors i regles separadors.

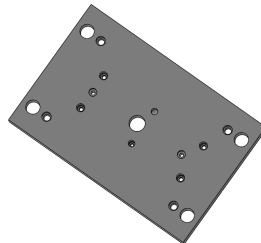


Figura 4.22: Placa base expulsió.

4.3. Disseny del motlle

Placa porta-expulsors: La placa porta-expulsors és aquella que conté els expulsors i és l'encarregada de extraure la peça un cop s'ha obert el motlle. En el nostre cas, aquesta placa conté 7 expulsors com es pot observar a la figura 4.23 més les columnes de centratge.

Expulsors: Són aquells elements habitualment cilíndrics que permeten mitjançant el sistema d'expulsió extreure la placa del motlle. En el nostre cas són 7 expulsors amb referències E 1710 i E 1720 de Meusburger que es mouran amb la placa expulsora i deixaran possiblement una petita marca.

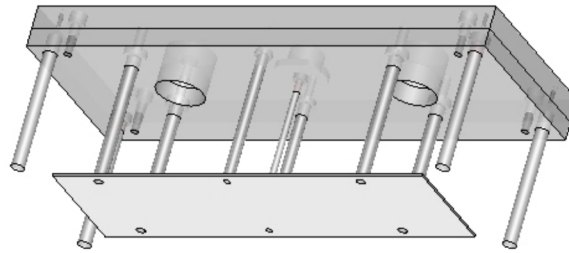


Figura 4.23: Placa expulsora amb expulsors.

Regles separadors: Són els elements que separen la placa base d'expulsió i la placa porta-figures. La distància ve determinada per l'espai que es necessita per expulsar la peça, en el nostre cas molt poc ja que és una superfície plana. Es tria un element normalitzat del proveïdor HASCO K40/246x446x76/1.1730. Disposa de dos forats passants dissenyats per allotjar les columnes d'obertura i tancament del motlle, a més de dos forats passants per als cargols que uneixen la placa base, els regles, la placa intermèdia i la placa amb la figura.

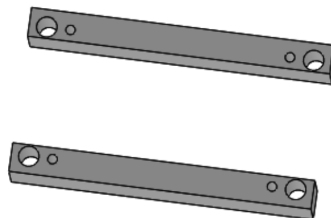


Figura 4.24: Regles separadors K40.

Placa porta-figures/cavitat: La placa portafigures del costat d'expulsió té la forma de la nostra placa definida anteriorment i definida més detalladament a l'annex de planells. És la placa més complexa que hem dissenyat ja que ha de contenir la cavitat per el sensor i el cable transmissor juntament amb el forat per l'element multicanal. Un cop mecanitzada la placa segons les especificacions del sensor Kistler, hem dissenyat un cilindre obert que ens permetrà passar el cable del sensor per al seu interior fins arribar a la

4.3. Disseny del motlle

regleta que connecta amb el multicanal. Per tal de tapar aquesta zona del motlle per evitar interferències de senyal, hem dissenyat una tapa de 6mm de gruix que permetrà tapar la zona de connexions i a la vegada tancar el sensor amb el seu cilindre perquè durant la injecció el sensor no se separi de la cavitat i els esforços siguin correctes. Realitzant aquesta instal·lació pel sensor 6183 C és una simplificació del seu muntatge i és una rèplica de com es munta el sensor 6464A1 del annex F. Aquesta placa, porta un circuit de refrigeració paral·lel i idèntic al de la placa fixa ja que el refredament el volem per igual a ambdues bandes. La figura 4.25 mostra la part davantera de la placa on es veu clarament la cavitat que s'ha dissenyat amb el seu circuit de refrigeració a l'interior. La figura 4.26 mostra la part de oposada de la cavitat, amb tots els allotjaments realitzats pels sensors i les seves connexions.

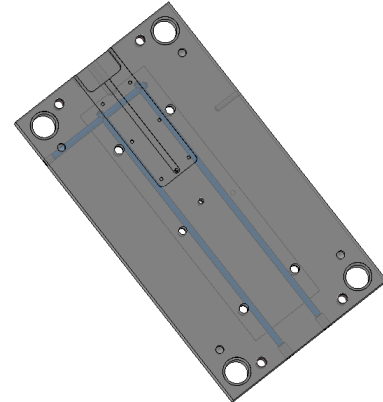
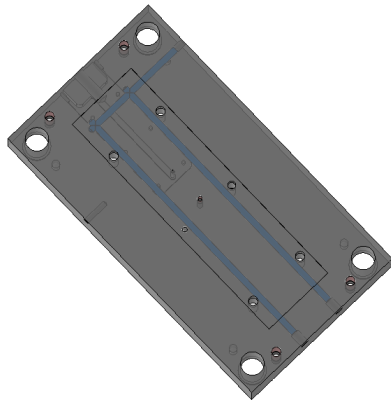


Figura 4.25: Placa porta-figures expulsió davant. Figura 4.26: Placa porta-figures expulsió darrera.

4.3.7 Elements auxiliars

Les plaques del motlle van subjectades principalment amb cargols normalitzats de Meusburger i Hasco. L'armella és l'element de seguretat que ens permet transportar el motlle per l'interior de la fàbrica per posicionar-lo a la màquina d'injecció. L'armella és un element roscat que es posiciona tant a la part mòbil com a la part fixa del motlle per assegurar que el motlle no s'obri durant el transport.

Columnes guia i de centratge: Són aquelles columnes que limiten el moviment del motlle en un sentit horitzontal i fan encaixar bé la part mòbil i la part fixa. Les columnes de centratge entren en acció un cop les columnes guia han posicionat bé el motlle. Aquestes permeten un ajust molt més precís de la col·locació de les parts i asseguren un moviment horitzontal molt precís.

Taula resum de contingut: És la taula on es recull els detalls comercials dels components utilitzats. La taula corresponent del nostre motlle és la taula 4.4.

4.3. Disseny del motlle

NOMBRE	DENOMINACIÓN COMERCIAL	FABRICANTE	CANTIDAD	MATERIAL
Cargol de fixació	Z33/4x8	Hasco	4	Screw Class 8.8 ISO 898
Cargol de fixació	Z31/8x22	Hasco	4	Screw Class 12.9 ISO 898
Cargol de fixació	Z31/12x35	Hasco	4	Screw Class 12.9 ISO 898
Cargol de fixació	Z31/12x115	Hasco	4	Screw Class 12.9 ISO 898
Columna centradora	Z20/30x40	Hasco	4	10.401
Columna centradora	Z00/76x24x95	Hasco	4	10.401
Columna centradora	Z10/76x24	Hasco	4	10.401
Element auxiliar	Z691/8x2	Hasco	4	17.701
Element auxiliar	Z691/12x2	Hasco	8	17.701
Cargol de fixació	Z55/18x3	Hasco	4	10.711
Placa d'injecció	K11/246x446x36/1.1730	Hasco	2	11.730
Placa expulsora	K70/246x446x22/1.1730	Hasco	1	11.730
Placa porta-figures (exp)	K20/246x446x76/1.1730	Hasco	1	11.730
Placa porta-figures (fix)	K20/246x446x76/1.1730	Hasco	1	11.730
Placa retenció expulsors	K60/246x446x17/1.1730	Hasco	1	11.730
Regles separadors	K40/246x446x76/1.1730	Hasco	2	11.730
Armella	E 1270 / 16	Meusburger	2	Steel
Boquilla	E 1625 / 18 x 76 / 4	Meusburger	1	12.826
Cargol de fixació	E 1220 / 5 x 12	Meusburger	6	Screw Class 10.9 ISO 898
Cargol de fixació	E 1200 / 4 x 10	Meusburger	2	Screw Class 12.9 ISO 898
Cargol de fixació	E 1200 / 5 x 16	Meusburger	2	Screw Class 12.9 ISO 898
Columna centradora	E 1510 / 40 x 76	Meusburger	2	11.730
Disc centrador	E 1380 / 110 x 12	Meusburger	1	10.503
Element auxiliar	E 1170 / 20	Meusburger	4	17.131
Expulsor	E 1710 / 12 x 160	Meusburger	8	12.210
Fixació 2 parts del motlle	31mm x 4mm x 4mm		1	11.730
Tapa Kistler	180mm x 60mm x 6mm		1	11.730

Taula 4.4: Taula resum de components del motlle d'injecció.

Voldria acabar aquest capítol fent esment que en aquest projecte hem posat l'èmfasi en l'anàlisi i estudi de les dades del sensor i no en el procés de disseny i fabricació, ja que és un procés complex que requereix d'equips especialitzats, processos de fabricació sofisticats, estudis de mercat, etc. Tot i així, per tal de tenir una idea aproximada del preu de fabricació del motlle, inclourem un estudi de preus en els pressupostos. En el nostre cas, hem realitzat un motlle senzill i accessible amb motllistes del nostre entorn industrial. Hem fabricat el motlle a l'empresa Moldtècnic, a les Franqueses del Vallès. El *lead-time* (temps de lliurament) ha estat de vuit setmanes (bastant inferior a les 12-15 setmanes per motlles fets a la zona de Barcelona, o 20-25 setmanes si estan fabricats a Xina).

4.3.8 Motlle i placa finals

El motlle resultant és a la pàgina següent (figura 4.27). A la imatge també hi ha especificades cada una de les parts que el componen: el sensor, els expulsors, el punt d'injecció, les columnes de centratge i les sortides d'aire. La placa construïda correspon a la figura 4.28.

4.3. Disseny del motlle

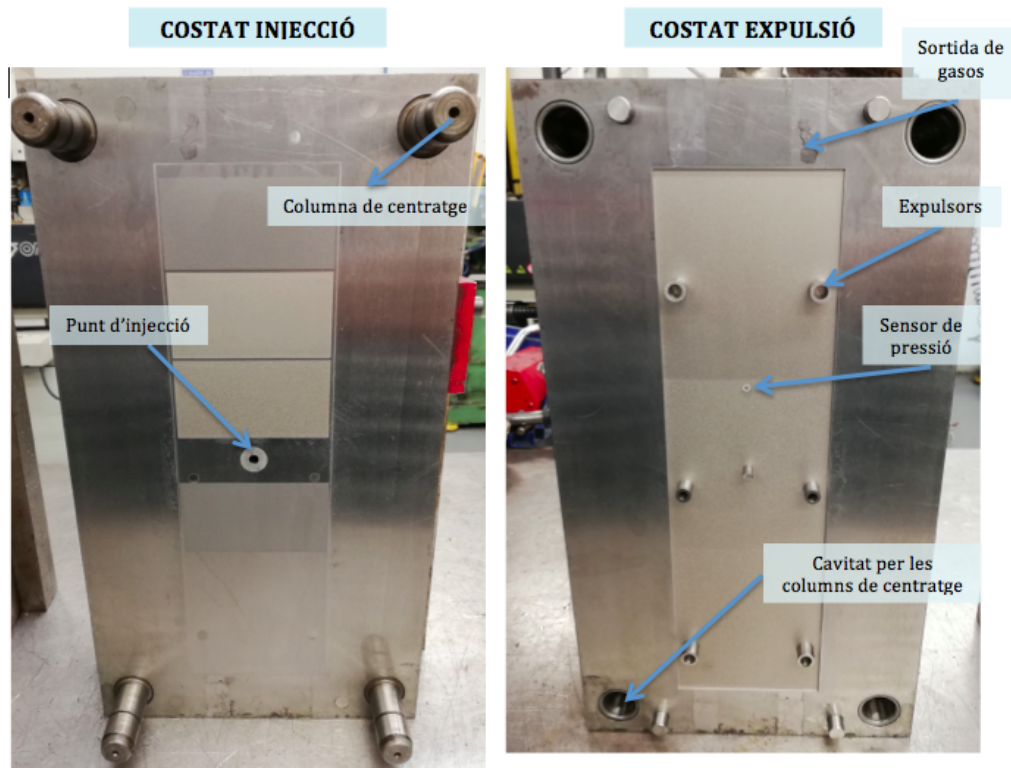


Figura 4.27: Fotografia del motlle real amb cada una de les seves parts indicades.



Figura 4.28: Fotografia de la placa injectada.

Capítol 5

Resum de resultats

Després de mesos de disseny i construcció del motlle utilitzant els sistemes piezoelèctrics, mostrem les principals gràfiques resultants pressió-temps amb els defectes detectats de peça curta, peça llarga i problemes superficials trobats.

A la gràfica [5.1](#) es recull el procés d'injecció estabilitzat després de realitzar varies injeccions amb els tècnics i donar la peça per bona. El nostre cicle d'injecció és de 24 segons i la pressió màxima assolida durant el procés estabilitzat segons el sensor és de 725 bars. La pressió mitjana obtinguda és de 325 bars, calculada mitjançant les dades del gràfic estabilitzat (veure annex [G](#)). Aquesta dada empírica no concorda amb els 285 bars calculats de manera teòrica a l'apartat [4.3.2](#). Aquest fet implica un replantejament en el punt de partida de força de tancament de màquina, ja que si la pressió mitjana és major, els nostres càlculs estarien equivocats i necessitaríem una màquina d'injecció més gran. No obstant, no s'han observat problemes d'obertura de motlle per falta de força de tancament durant les proves, la qual cosa, ens inclina a pensar que els càlculs realitzats són correctes i que són les mesures del sensor les que podrien estar lleugerament desvirtuades per possibles factors externs com el fregament, les toleràncies o la transmissió de senyal. En qualsevol cas, en cada una de les peces, els resultats s'han vist esbiaixats de la mateixa manera i de fet, durant l'anàlisi de dades, hem observat que el patró de la gràfica pressió-temps es repeteix en cada cicle d'injecció. Aquest fet ens ha permès tractar les dades recollides tot i no ser del tot acurades.

La nostre gràfica conté 6 punts en vermell que representen cada canvi d'etapa durant el procés d'injecció de la mateixa manera que s'ha explicat a la secció [2.3.1](#). També hi ha marcades dues zones, la zona A i la zona B. Aquestes zones són les que ens permeten controlar el procés d'injecció i determinar si una peça és bona o defectuosa. La zona A detecta principalment els problemes de peça curta i peça llarga, ja que en aquesta zona mesurem principalment les pressions màximes assolides entre els segons 7 i 12 de

la injecció. La zona B, en canvi, detecta problemes de dimensions de la peça. Si al final del temps de cicle (24s) encara hi ha una pressió positiva, significa que la peça encara no està del tot solidificada en el moment en que s'extreu del motlle i per tant, és susceptible de ser deformada.

En total s'han injectat 1300 unitats de les quals 30 (2,3%) han sigut defectuoses. Són les gràfiques d'aquestes peces defectuoses les que ens han permès determinar els límits crítics de les zones A i B. En particular, hem trobat que si els valors màxims de la peça a la zona A són inferiors al 10% del pic de pressió, es tracta d'una peça curta, i si els valors dels màxims són majors al 11%, d'una peça llarga. A la zona B, hem trobat que l'únic que cal comprovar és que la pressió durant els segons 19 i 24 disminueixi fins a 0 bars.

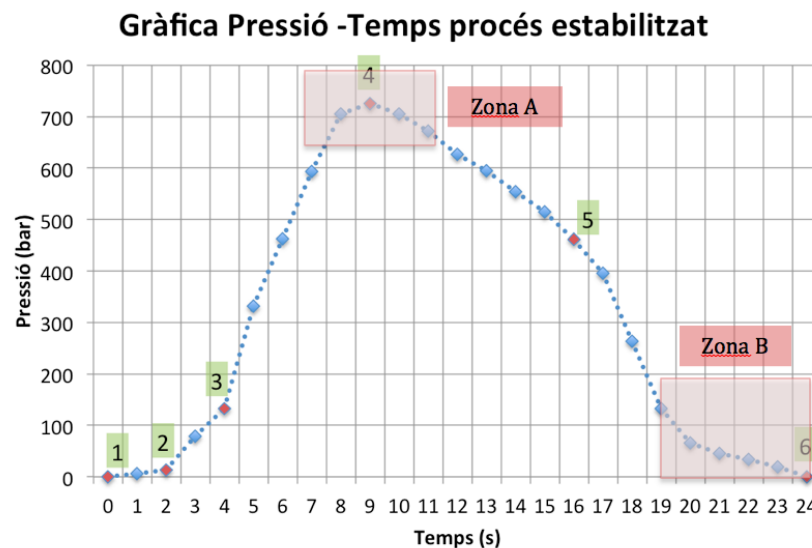


Figura 5.1: Gràfica del procés estabilitzat.

Les següent gràfiques (figures 5.2-5.4) descriuen la relació pressió-temps de tres peces detectades com a peça curta, peça llarga i peça amb deformacions de dimensions.

La primera gràfica (figura 5.2) correspon al cicle d'injecció d'una peça curta. A la zona A, podem veure que la pressió no és capaç d'arribar als seus màxims, quedant-se molt per sota amb un valor de 618 bars dels 725 bars ideals de la gràfica de referència. Això significa un 15% menys de pressió, i per tant, la màquina l'ha detectat com a dolenta. Pel que fa a la zona B, la gràfica compleix amb els requisits i en el moment de l'obertura del motlle la pressió és zero. Per tant, en principi, no hi ha cap problema addicional.

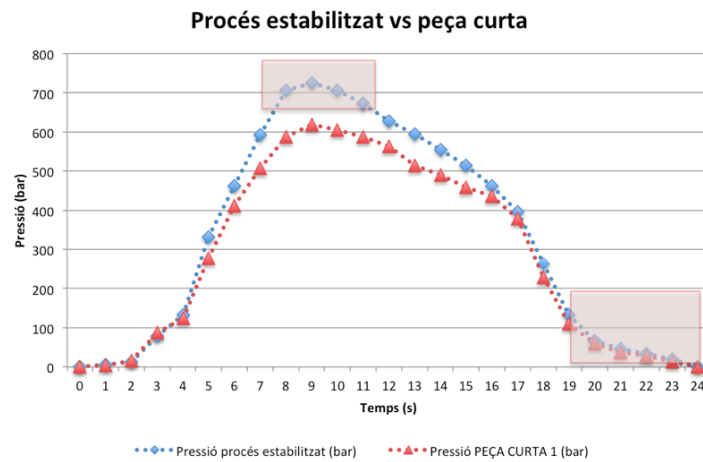


Figura 5.2: Gràfica de peça curta.

La gràfica 5.3 exposa el resultat d'una peça llarga. La zona A és la que reflexa l'anomalia respecte la gràfica estabilitzada, ja que els valors se surten del nostre límit marcat del 10% i com a conseqüència obtenim una peça amb rebava. El procés d'injecció és força similar l'estabilitzat en tots els passos excepte el de la pressió màxima, la qual es dispara fins arribar als pràcticament 850 bars de pressió a l'interior de la cavitat. Tot i aquest pic de pressió, no hem observat cap obertura en el motlle, fet que ens constata la hipòtesis que els sensors Kistler pateixen alguna sobrecàrrega addicional que no ens dona el valor exacte de la pressió interna de la cavitat.

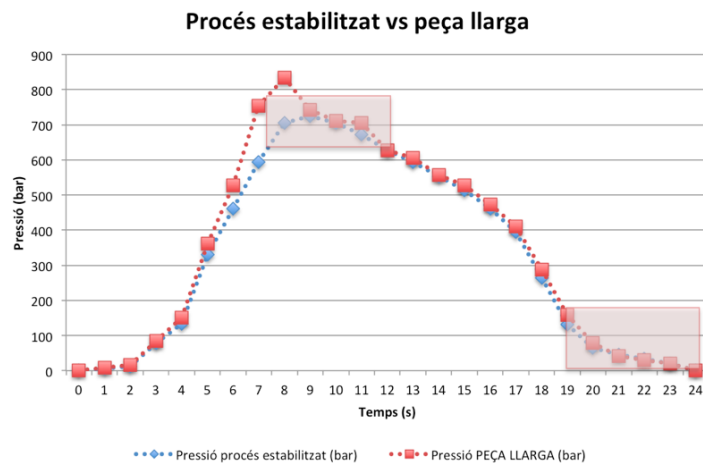


Figura 5.3: Gràfica peça llarga

L'últim gràfic (figura 5.4) correspon a una peça amb les dimensions deformades. En aquest cas, la zona A es troba dins dels rangs establerts de pressions, però en canvi, la zona B detecta una pressió positiva

en el moment de l'obertura del motlle. Això significa que la peça no ha estat totalment solidificada i pot provocar una deformació al patir qualsevol impacte o bé una refrigeració no uniforme un cop expulsada del motlle. És un defecte difícil de veure a simple vista ja que la peça està sencera i només es poden observar contraccions a la superfície.

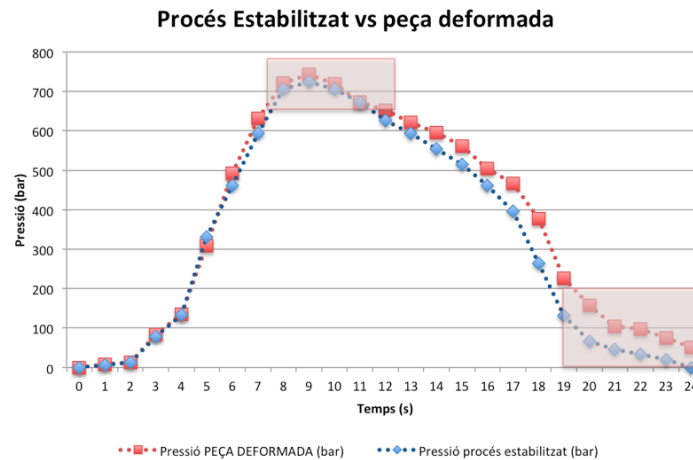


Figura 5.4: Gràfica de peça deformada.

Els valors exactes de les gràfiques realitzades extrets del Kistler es poden trobar a l'annex G. Per la generació de les gràfiques hem fet un filtratge de les dades enviades pel sensor. A l'annex E es poden consultar els paràmetres d'injecció utilitzats pel nostre motlle. La determinació d'aquests ha estat realitzada per un expert en injecció de plàstic de la nostra empresa. El càlcul del temps de refredament amb aquests paràmetres s'ajusta molt als resultats teòrics recollits a la figura 4.24.

En els capítols anteriors hem comentat que els sensors ens permeten optimitzar el procés d'injecció reduint el temps de cicle. En el nostre cas, vam fer una prova d'injecció sense connectar el Kistler a l'amplificador amb un tècnic d'injecció. El tècnic va anar fent proves fins a tenir el procés mitjanament controlat obtenint un temps de cicle de 30s. Després vam connectar el Kistler i vam comprovar que en els 6 últims segons (dels 23-24s als 30s) la pressió a l'interior de la cavitat era zero, ja que la peça estava solidificada del tot. Aquesta prova que vam fer a cegues ens ha fet veure la importància de l'utilització dels sensors per tal de reduir temps de cicle, sobretot en motlles d'alta productivitat. A més a més, l'ús de sensors facilita el control de peces defectuoses.

5.1. Resum de pressupost

5.1 Resum de pressupost

La taula 5.1 recull un resum de totes les accions considerades durant el treball de final de grau que impliquen un cost econòmic. Entre d'altres trobem tot el cost d'enginyeria de buscar informació i redactar la memòria, i addicionalment hi ha el cost de fabricació del motlle i dels sensors. Al annex de pressupostos B es troba detalladament el cost de fabricació del motlle així com les tasses de personal.

COST D'ENGINYERIA			
CONCEPTE	HORES	PREU	TOTAL
Informe preliminar	25	30 €	750 €
Estat de l'art	80	30 €	2.400 €
Disseny de peça	25	50 €	1.250 €
Disseny de motlle	150	50 €	7.500 €
Anàlisi de resultats	30	50 €	1.500 €
Realització planells	60	50 €	3.000 €
Elaboració de la memòria	150	30 €	4.500 €
Annexes	40	30 €	1.200 €
Pressupostos	40	30 €	1.200 €
Supervisió tutor	50	60 €	3.000 €
TOTAL ENGINYERIA	650h		26.300 €
COST DEL MOTLLE			6.266 €
COST SENSOR			2.507 €
COST TOTAL			35.073 €

Taula 5.1: Resum del pressupost total.

5.2 Anàlisi de les implicacions ambientals

No hem de deixar de banda les implicacions ambientals que comporta la fabricació d'un motlle i la seva producció. Hi ha diverses etapes el qual hi ha contaminació de residus segons la fase en la qual ens trobem del projecte. Inicialment, tenim la fase de estat de l'art i disseny el qual no hi ha implicacions mediambientals, ja que pràcticament tota la informació és extreta d'internet o bé de llibres de la biblioteca. La fase de construcció del motlle comporta ús d'energia durant els processos de mecanitzat així com l'arrencament d'encenalls o utilització d'olis de refrigeració. L'encenall és un residu no perillós i els olis utilitzats si que ho són segons la llista europea de residus (LER) [36]. Hi ha empreses com Saica, Llorenç gmr o Llorenç que permeten el tractament o reciclatge d'aquests residus en el cas de ser possible. Un cop tenim el motlle fabricat, hi ha residus d'embalatge, com bé a ser palet de transport que després pot ser reutilitzat per altres aplicacions dins la mateixa empresa. Durant el procés de fabricació s'utilitza energia per la màquina elèctrica, aigua oxigenada per la refrigeració i polipropilè per la fabricació de la peça. L'aigua oxigenada circula per un circuit tancat de refrigeració i és un residu no perillós. El polipropilè arriba del proveïdor amb sacs i palets d'embalatge, els sacs són de plàstic i es reciclen com a residu no perillós i en el cas del palet es pot reutilitzar com s'ha esmentat anteriorment. Durant la fabricació, obtindrem residus de polipropilè procedent de la colada freda o bé de peces no conformes detectades pel

5.2. Anàlisi de les implicacions ambientals

kistler, aquest residu es pot reutilitzar ja que és un plàstic termostable. Segons la llei, tot i ser reciclable, no es pot reutilitzar per aplicacions directes de l'automòbil. L'última fase que és la del emmagatzematge produeix residus de caixes de cartró, en molts casos poden ser reutilitzables per a altres aplicacions, però també es poden gestionar mitjançant la recollida per alguna de les empreses esmentades.

Un altre tipus de contaminacions són aquelles que poc sovint tenim en compte, però les senyals acústiques o vibracions. Cada màquina d'injecció té senyals acústics per tal d'emetre una alarma en el cas de que la injecció no s'estigui efectuant correctament. A més a més, el moviment de les màquines pot generar vibracions a l'ambient, poc notables en molts casos, però s'ha de tenir en compte.

Per tal d'evitar aquests residus que molts són inevitables, hem de buscar la manera de reutilitzar els sacs en els quals ens arriba la matèria prima, màquines d'injecció i de mecanitzat més eficients amb un baix consum d'energia i a la vegada, estabilitzar al màxim el procés d'injecció de manera que obtinguem poca quantitat de disconformitats en la peça final.

Capítol 6

Conclusions

Per a la realització d'aquest treball he documentat i recollit els coneixements i dades bàsiques que es troben en la literatura sobre el món del plàstic. Això m'ha donat una visió global del sector i del seu estat de l'art. Per altra banda, he entrat en profunditat en el sistema d'injecció de plàstics dissenyant una peça rectangular i el seu motlle. Aquest procés de creació no només ha estat teòric sinó que he estat en contacte amb la indústria i el treball ha resultat en la creació del motlle.

A més a més, he fet un estudi de l'efecte de les variacions de pressió en el cicle d'injecció, un fenomen no gaire estudiat i difícil de trobar-ne referències. He demostrat que aquestes variacions són conseqüència directa de les deformitats de les peces. Per fer-ho, he posicionat un sensor de pressió Kistler piezoelèctric en el motlle i he generat més d'un miler de peces. De cada una d'elles he recollit les dades de pressió del cicle i les he comparat amb l'estat final de la peça. Tot i que els resultats difereixen lleugerament de les previsions teòriques, aquesta diferència s'ha vist reflectida en totes les peces per igual. Així, la correlació entre les peces defectuoses i les variacions anòmales de les pressió ha estat igualment clara i l'he posat de manifest gràficament. A més a més, he generat un sistema automàtic de detecció de peces defectuoses establint uns màxims i mínims en dues zones particulars del cicle d'injecció. Per últim, destacar que tant el motlle com el sensor seran reaprofitats per l'empresa, el qual dóna un valor afegit al disseny.

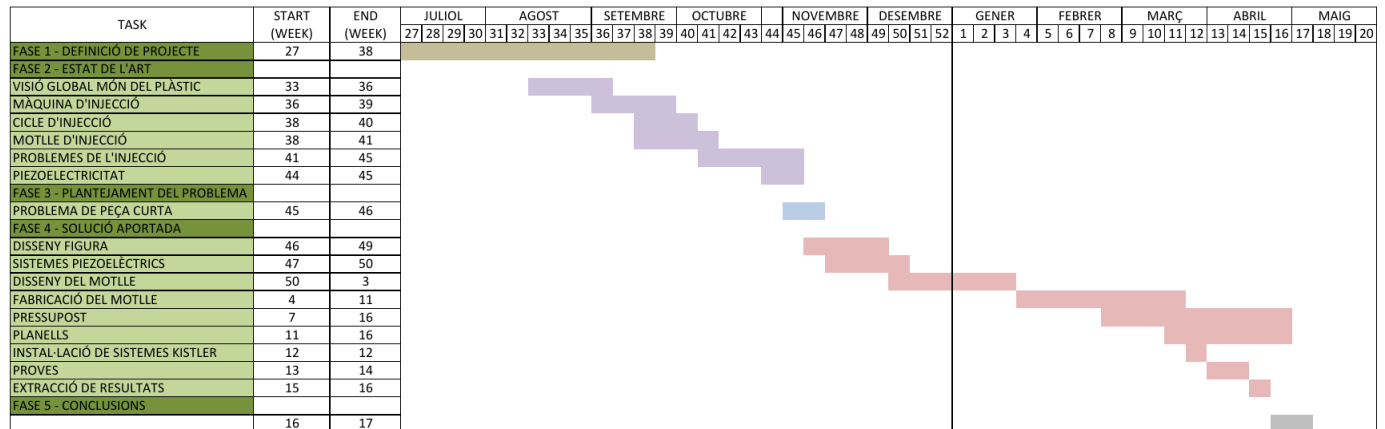
Aquest treball serveix de base de coneixement per estendre aquesta tecnologia a motlles més complexes que permetran optimitzar i regular els processos. Es pot ampliar experimentant amb altres prestacions dels sensors piezoelèctrics, com l'autoregulació. En aquest cas caldria la construcció d'un motlle de càmera calenta, que d'entrada és més complex i més car. Tot i que els processos de fabricació del motlle han quedat fora de l'abast d'aquest projecte, seria interessant fer un estudi profund del que abarca, com el disseny de programes en CNC, hores de mecanització, etc.



APÈNDIXS

Apèndix A

Diagrama de Gantt



Apèndix B

Pressupost

En aquest annex es mostren els càlculs dels pressupostos del projecte, així com els cost d'enginyeria, el cost del motlle i el cost dels sensors amb tots els seus components.

PREUS PERSONAL	
CATEGORIA	PREU
ESTUDIANT D'ENGINYERIA	30 €
ENGINYER	50 €
PROJECTISTA	50 €
ENCARREGAT	40 €
OPERARI	25 €
PROFESSOR TUTOR	60 €

COST D'ENGINYERIA			
CONCEPTE	HORES	PREU	TOTAL
Informe preliminar	25	30 €	750 €
Estat de l'art	80	30 €	2.400 €
Disseny de peça	25	50 €	1.250 €
Disseny de motlle	150	50 €	7.500 €
Anàlisis de resultats	30	50 €	1.500 €
Realització planells	60	50 €	3.000 €
Elaboració de la memòria	150	30 €	4.500 €
Annexes	40	30 €	1.200 €
Pressupostos	40	30 €	1.200 €
Supervisió tutor	50	60 €	3.000 €
TOTAL ENGINYERIA	650h		26.300 €
COST DEL MOTLLE			6.266 €
COST SENSOR			2.507 €
COST TOTAL			35.073 €

PREU DE PROCESSOS DE FABRICACIÓ	
MÀQUINA	PREU
TALADRE	45 €
FRESAT	45 €
TORN	45 €

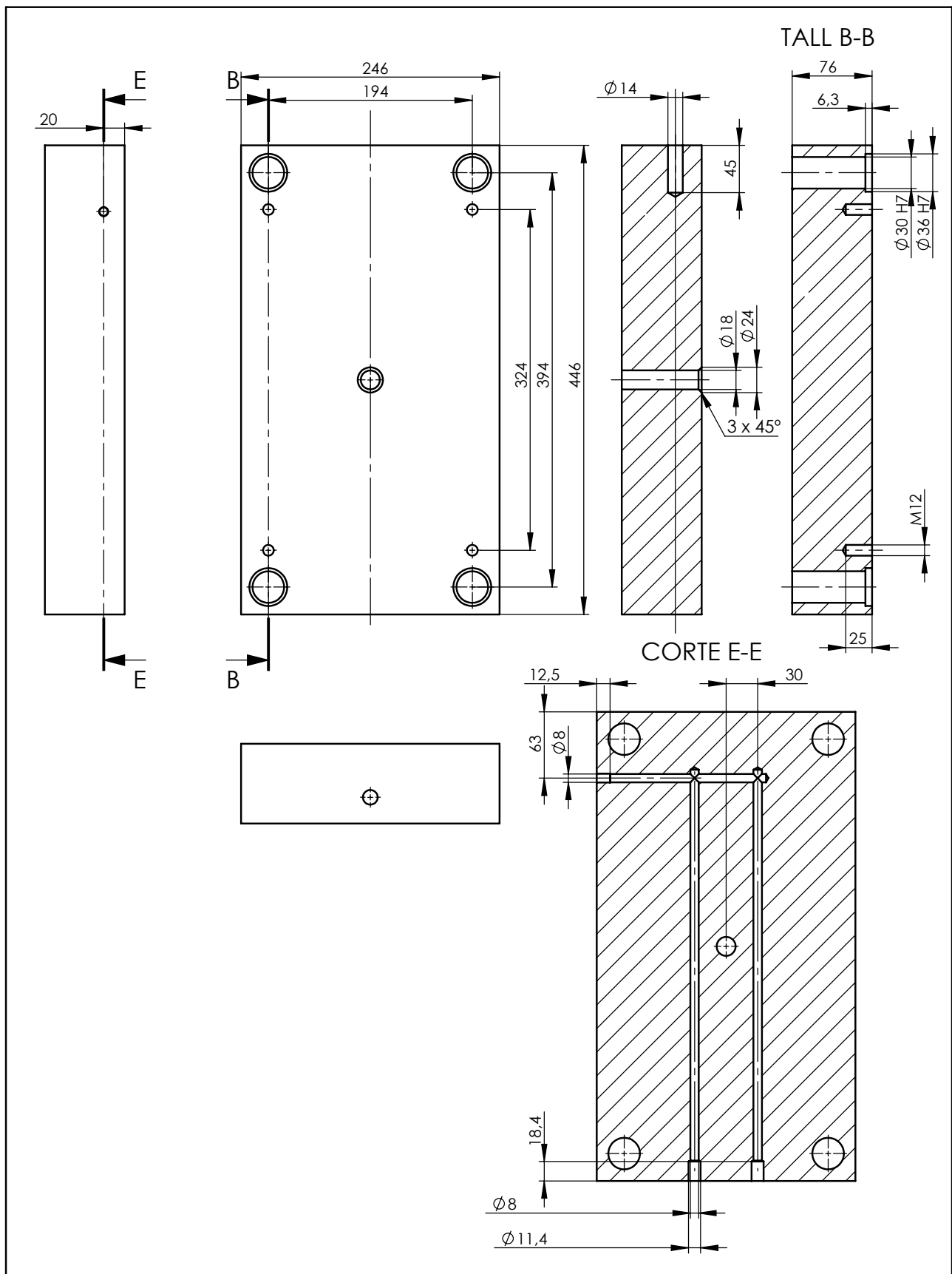
COST DEL MOTLLE						
CONCEPTE	DENOMINACIÓ COMERCIAL	FABRICANTE	CANTIDAD	MATERIAL	PRECIO	COSTE
Cargol de fixació	Z33/4x8	Hasco	4	Screw Class 8.8 ISO 898	4,2 €	16,9 €
Cargol de fixació	Z31/8x22	Hasco	4	Screw Class 12.9 ISO 898	0,6 €	2,2 €
Cargol de fixació	Z31/12x35	Hasco	4	Screw Class 12.9 ISO 898	0,9 €	3,5 €
Cargol de fixació	Z31/12x115	Hasco	4	Screw Class 12.9 ISO 898	0,3 €	1,0 €
Columna centradora	Z20/30x40	Hasco	4	10.401	19,0 €	75,8 €
Columna centradora	Z00/76x24x95	Hasco	4	10.401	17,9 €	71,5 €
Columna centradora	Z10/76x24	Hasco	4	10.401	15,2 €	60,8 €
Element auxiliar	Z691/8x2	Hasco	4	17.701	3,5 €	14,1 €
Element auxiliar	Z691/12x2	Hasco	8	17.701	6,0 €	47,8 €
Cargol de fixació	Z55/18x3	Hasco	4	10.711	0,9 €	3,5 €
Placa d'injecció	K11/246x446x36/1.1730	Hasco	2	11.730	289,5 €	578,9 €
Placa expulsora	K70/246x446x22/1.1730	Hasco	1	11.730	268,9 €	268,9 €
Placa porta-figures (exp)	K20/246x446x76/1.1730	Hasco	1	11.730	316,8 €	316,8 €
Placa porta-figures (fix)	K20/246x446x76/1.1730	Hasco	1	11.730	316,9 €	316,9 €
Placa retenció expulsors	K60/246x446x17/1.1730	Hasco	1	11.730	223,2 €	223,2 €
Regles separadors	K40/246x446x76/1.1730	Hasco	2	11.730	107,2 €	214,3 €
Armella	E 1270 / 16	Meusburger	2	Steel	2,6 €	5,1 €
Boquilla	E 1625 / 18 x 76 / 4	Meusburger	1	12.826	56,0 €	56,0 €
Cargol de fixació	E 1220 / 5 x 12	Meusburger	6	Screw Class 10.9 ISO 898	0,5 €	2,7 €
Cargol de fixació	E 1200 / 4 x 10	Meusburger	2	Screw Class 12.9 ISO 898	0,5 €	0,9 €
Cargol de fixació	E 1200 / 5 x 16	Meusburger	2	Screw Class 12.9 ISO 898	0,5 €	1,0 €
Columna centradora	E 1510 / 40 x 76	Meusburger	2	11.730	15,8 €	31,7 €
Disc centrador	E 1380 / 110 x 12	Meusburger	1	10.503	23,5 €	23,5 €
Element auxiliar	E 1170 / 20	Meusburger	4	17.131	2,4 €	9,7 €
Expulsor	E 1710 / 12 x 160	Meusburger	8	12.210	17,9 €	143,5 €
Fixació 2 parts del motlle	31mm x 4mm x 4mm		1	11.730	3,0 €	3,0 €
Tapa Kistler	180mm x 60mm x 6mm		1	11.730	23,0 €	23,0 €
					TOTAL	2.516,2 €
Processos de fabricació						
Realització CNC (hores)		25 €			60	1.500 €
Mecanitzar (hores)		45 €			50	2.250 €
Muntatge		25 €			50	1.250 €
					Total procés de fabricació	3.750 €
					TOTAL MOTLLE	6.266 €

PREU KISTLER				
ELEMENT	MODEL	PREU	QUANTITAT	TOTAL
Sensor de pressió	6183C	789,7 €	1	790 €
Cable connexió (Sensor - Multicanal)	1839	12,3 €	1	12 €
Multicanal 4 chanel	1708B	52,3 €	1	52 €
Amplificador ComoNeo	5887A	423,0 €	1	423 €
Connexió fisher 103 (Multicanal-Amplificador)	1995A	14,7 €	1	15 €
Cable de corrent (Amplificador)	5781A5	2,2 €	1	2 €
Cable de Ethernet (Amplificador)	1200A49	5,3 €	1	5 €
Cable de visualització (Pantalla Amplificador)	5637A1	7,6 €	1	8 €
Instal·lació (hores)		60,0 €	20	1.200 €
			TOTAL	2.507 €

Apèndix C

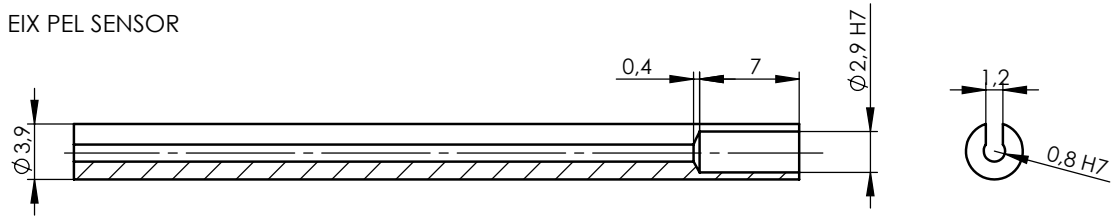
Planells

En aquest annex s'adjunten únicament 4 planells els quals corresponen a les dues plaques que formen la figura i els dos components addicionals que tanquen el motlle. Els planells són una idea aproximada de les dimensions del motlle. Aquests han estat realitzats després de la fabricació del motlle per tal de mostrar com havia quedat el resultat final, ja que el motllista necessita únicament el 3D per realitzar els programes de control numèric (CNC). Les cotes més específiques de ajustos i qualitats superficials no s'han introduït en els planells ja que aquest treball es centra principalment en l'anàlisi de les dades extreta pel sensor de pressió i l'estudi i resultats d'aquestes. En els planells podem trobar les mesures del circuit de refrigeració, la placa base que hem dissenyat i les cavitats pels expulsors i elements de fixació. El planell del sensor Kistler es troba al annex [F](#) i els elements normalitzats del motlle a les pàgines web de Hasco i Meusburger. Els planells es poden descarregar directament amb totes les cotes i toleràncies, per això no l'he introduït en aquest treball, ja que a les plaques d'injecció ja es defineix la posició dels expulsors.

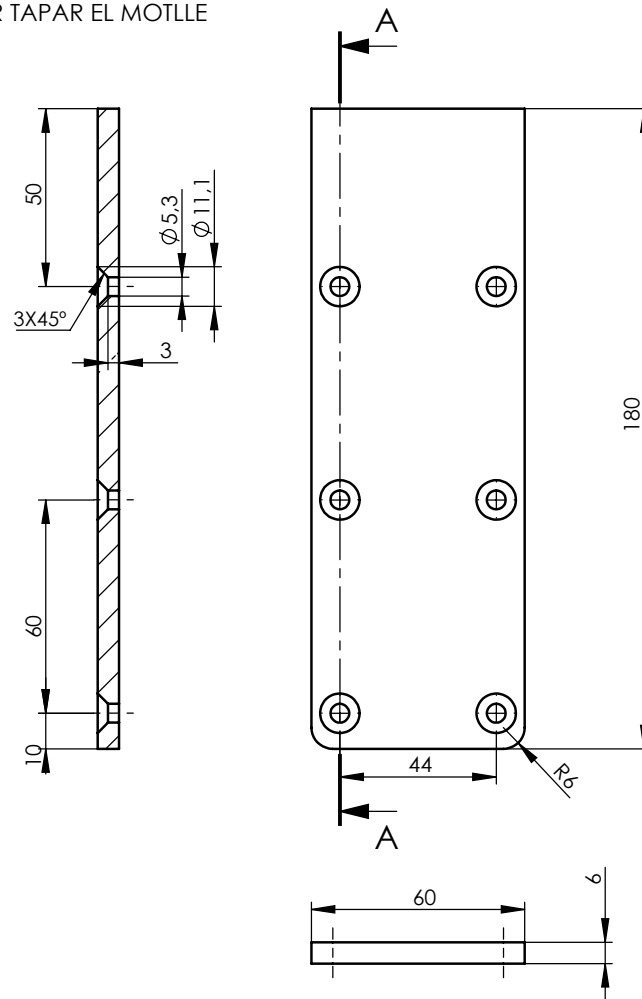


	Escola d'Enginyeria de Terrassa - E E T	Denominación proyecto: TFG	A4	Apellidos y nombre: ALBERT BELLÉS MUÑOZ		
	Ingeniería Gráfica Area de Expresión Gráfica en la Ingeniería	Denominación plano: PLACA COSTAT INJECCIÓ		Est.sup.UNE 1037/Tol.gral.ISO 2778-K/Tol.geom.ISO 2778-m		
		Código plano:		Escala: 1:5	Fecha: 01/2019	Calificación:

1. EIX PEL SENSOR



2. PLACA PER TAPAR EL MOTLLE



Escola d'Enginyeria de Terrassa - EET

Denominación proyecto:

TFG

A4

Apellidos y nombre:

ALBERT BELLÉS MUÑOZ



Ingeniería Gráfica

Area de Expresión Gráfica
en la Ingeniería

Denominación plano:

1. EIX PEL SENSOR
2. PLACA TAPA MOTLLE

Código plano:

Est.sup.UNE 1037/Tol.gral.ISO 2778-K/Tol.geom.ISO 2778-m

Escala:

2:1

Fecha:

01/2019

Calificación:

Apèndix D

Dades tècniques del polipropilè

En aquest annex s'adjunten les dades tècniques i característiques principals del Hostacom PPR 1042 que és el material que hem utilitzat pel nostre treball.

Technical Data Sheet

Hostacom PPR 1042 12



Polypropylene Compounds

Product Description

Hostacom PPR 1042 12 is an unfilled PP copolymer, with medium melt flow and good impact resistance. This grade is delivered in black color version.

Regulatory Status

For regulatory compliance information, see Hostacom PPR 1042 12 [Product Stewardship Bulletin \(PSB\)](#) and [Safety Data Sheet \(SDS\)](#).

This grade is not intended for medical, pharmaceutical, food and drinking water applications.

Status	Commercial: Active
Availability	Europe
Application	Automotive Parts
Market	Automotive
Processing Method	Injection Molding
Attribute	Good Impact Resistance

Typical Properties	Nominal Value	Units	Test Method
Physical			
Melt Flow Rate, (230 °C/2.16 kg)	4	g/10 min	ISO 1133-1
Melt Volume Flow Rate, (230 °C/2.16 kg)	6	cm ³ /10 min	ISO 1133-1
Density, (23 °C)	0.90	g/cm ³	ISO 1183-1/A
Mechanical			
Tensile Modulus, (23 °C)	1100	MPa	ISO 527-1, -2
Tensile Stress at Yield, (23 °C)	26	MPa	ISO 527-1, -2
Impact			
Charpy Impact Strength - Notched, (23 °C)	10	kJ/m ²	ISO 179-1/1eA
Charpy Impact Strength - Unnotched, (23 °C)	No Break		ISO 179-1/1eU
Thermal			
Vicat Softening Temperature, (B50)	70	°C	ISO 306
Deflection Temperature Under Load			
(0.45 MPa, Unannealed)	75	°C	ISO 75B-1, -2
(1.80 MPa, Unannealed)	50	°C	ISO 75A-1, -2

Notes

These are typical property values not to be construed as specification limits.

Availability indicates the region where the material is produced. For importation or demand of a local equivalent grade, please contact our Sales Representatives.

Melt flow rate

The melt flow test method, according to ASTM D 1238, (ISO 1033) is a measurement of the rate of extrusion (reported in grams/10 minutes) of the molten resin through an orifice of a specified length and diameter under prescribed conditions of temperature and pressure. The melt flow rate (MFR) used for polypropylene should not be confused with the melt index (MI) for polyethylene. The apparatus is the same, but the melt flow rate is determined at 446°F (230°C), 4.76 lbs. (2.16kg) piston force, while the melt index of polyethylene is at 374°F (190°C), 4.76 lbs. (2.16kg) piston force.

The melt flow rate is a single point measurement of the melt viscosity (melt's resistance to flow) and is also used to give an estimate of polypropylene's molecular weight. The melt flow rate is inversely related to the molecular weight (i.e., as the molecular weight increases the melt viscosity increases and the melt flow rate decreases).

At the low shear rates employed for the test method, the melt flow rate cannot be used by itself to give a reliable measure of moldability, owing to the high shear rates encountered in injection molding.

Despite this limitation and the limited precision of the melt flow results attributable to the procedure itself, the melt flow apparatus is nevertheless widely used in the plastics industry as an economical, convenient and fast testing device. This enables users to distinguish the variety of available injection molding grades intended to meet their specific needs.

Capillary flow

The capillary flow test, using a capillary rheometer, measures the viscosity of the molten resin at high shear rates similar to those that occur in the injection molding process. This technique provides a better assessment of the resin's moldability.

Above is an illustration of the viscosity vs. shear rate curves of typical flow characteristics of polypropylene.

Polypropylene, when subjected to high shear rates, will experience a dramatic decrease in viscosity that aids in mold filling. This shear thinning property can be particularly useful for long flow paths on large molded parts. On the other hand, the polymer is subjected to very high stresses that may affect the final part properties, so care must be exercised in using excessively high shear rates.

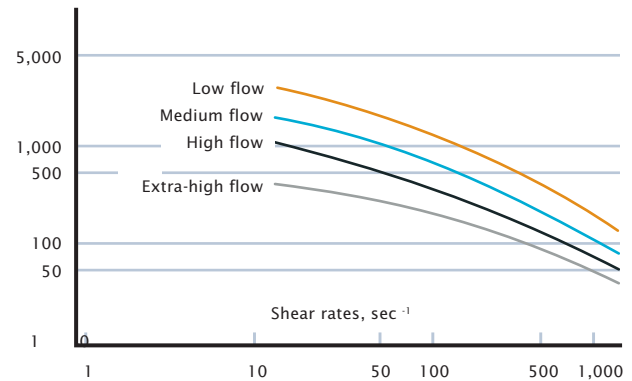


Fig. 5 Typical flow characteristics at 446°F (229°C)

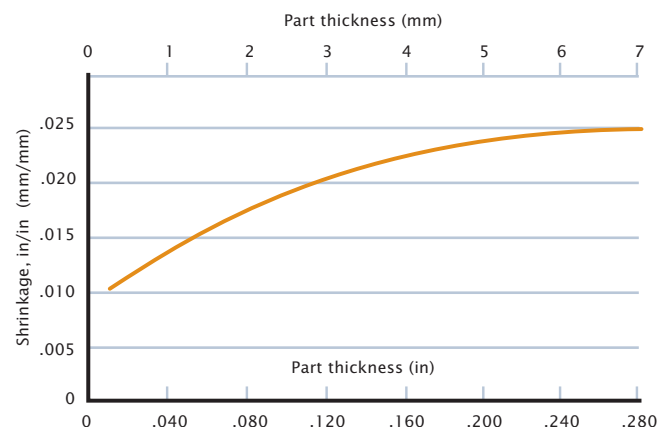


Fig. 6 Pro-fax polypropylene shrinkage variation with thickness

Note: Shrinkage values given here are the maximum to be expected under most molding conditions (primarily based on cooling rate). Although the data are useful in determining mold cavity allowances, it should be remembered that lower values can be obtained when molding conditions are optimized by adjustment of cycle times, temperatures and other process variables.

Designing parts for polypropylene

I. Part design considerations

Wall thickness - effect on shrinkage

The wall thickness of a molded part has a direct effect on polypropylene shrinkage. This contraction of the part occurs predominantly within the first 48 hours after molding due to polymer post-melt crystallization.

The rate of cooling (related to melt temperature, mold temperature and mold closed time) as well as second stage packing pressure directly influences the extent of shrinkage. Thick sections naturally cool slower and therefore shrink more as depicted in the graph below. This relationship favors the design of molded parts with a constant wall thickness; otherwise internal stresses may cause warpage. Mold filling/packing can be a major cause for inconsistent shrinkage values. Walls should be less than 1/4" (6.4mm) thick to avoid shrink voids especially for areas far from the gate that may be difficult to pack out.

Thin wall molded parts of 0.020 inch (0.5 mm) or less can have shrinkage values of 0.020 inch/inch (0.020 mm/mm) or more based on molding conditions. Prototype molds are advised for new applications where precise final part dimensions are required.

As shown in Figure 7, if a part were designed with double the necessary wall thickness, the cooling time (which is also sensitive to melt temperature, mold temperature, resin stiffness and the rate of crystallization) would need to be increased 3 to 4 times.

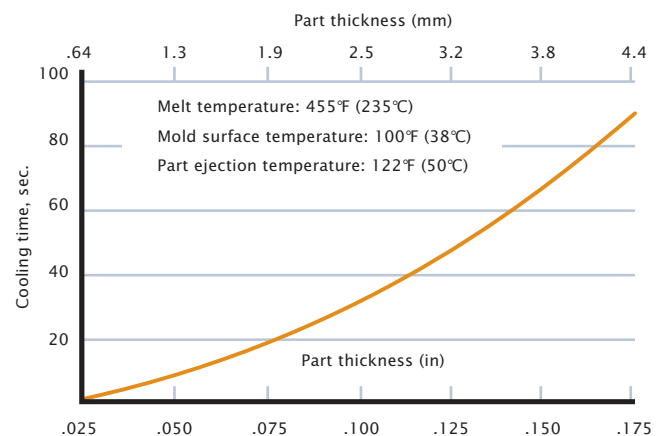


Fig. 7 Cooling time vs. part thickness

■ Nucleation

Polypropylene can be nucleated to produce dimensionally stable parts. Most of the post molding shrinkage occurs in nucleated parts in the mold. The mold, therefore, becomes a cooling jig stabilizing the part to the mold shape, and preventing warpage. However, the parts can be difficult to strip owing to shrinkage on cores. Nucleated parts also tend to freeze in molding stresses and parts may possess slightly less impact resistance than similar parts made with non-nucleated polypropylene. Certain polypropylene resins, particularly random copolymers, have clarifiers added to them that also behave as nucleators. Be aware that certain pigments are excellent nucleators (e.g. green blue, orange, etc.) such that molded parts of different colors may result in different part dimensions.

■ Flow consideration

To determine the minimum wall thickness from a moldability standpoint, the flow of the resin in the mold should be considered with respect to melt and mold temperatures, cavity length and runner and gate sizes.

In general, thin-walled parts with long flow paths require extra or ultra high flows, while thick-walled parts with short flow paths allow the use of medium to low flow resins. Molded parts with living hinges frequently require higher flows to ensure a rapid mold fill and good hinge quality. Too high a melt flow reduces the flex life of the hinge.

Multicavity mold design

If a multicavity mold will be used vs. a single cavity tool (based on machine size, part quantity, delivery constraints and molding cost), careful consideration should be given to the balancing of the mold runner system.

Balance is accomplished by a runner design that locates all parts equidistant from the sprue and reducing the runner volume by varying the area and shape of the runners and hot runners. If possible, do not balance by varying the gate sizes.

Ultimately, the ideally balanced mold should deliver polypropylene to each gate under identical conditions (i.e., temperature and pressure). Unbalanced molds usually cause cavities to fill at different pressures and speeds resulting in overpacking, warpage, differential shrinkage, brittleness, dimensional inconsistencies and parts that stick to the mold. A “short shot” evaluation will provide the molder with a reasonable assessment of fill balance.

Molding parts with *Pro-fax* and *Moplen* polypropylene

I. Injection machine requirements

Rated capacity

An estimate should be made of the shot size required for the particular molded part. This estimate should be compared with the machine's rated capacity. Polypropylene shot sizes have a maximum limit of approximately 75% of the machine's rated capacity in polystyrene. When using color concentrates, the shot sizes have an approximate maximum limit of 60% to allow for adequate mixing and dispersion.

Screw type

A typical screw used for polypropylene is the single-stage, general purpose type with a length-to-diameter (L/D) ratio of 16:1 to 24:1 and a compression ratio between 2.5:1 and 3.0:1. A two-stage screw with a vented barrel is not required.

Clamping force

The clamping force required for polypropylene is 2 tons/in² (2.8 kg/mm²) of projected area for a wall thickness greater than or equal to 0.090 in. (2.3 mm). Thinner walls require slightly more clamp tonnage. Therefore, an overall average clamp tonnage of 2.5 tons/in² (3.5 kg/mm²) is commonly recommended for parts with wall thicknesses of less than 0.090 in. (2.3 mm).

II. Startup molding conditions

Polypropylene has been successfully processed on a wide variety of injection molding machines, and general assumptions have been made to simplify the following recommendations. It is assumed that the machine is fitted with a reciprocating screw injection unit with the screw having a minimum 20:1 L/D ratio and a compression ratio of at least 2.5:1. It is assumed that the mold is in reasonably good condition (e.g. not flashing, vents not hobbled shut, etc.).

On a cold start up, allow sufficient time at initial set conditions to make sure that all parts (including the screw) have reached processing temperatures. Resins with different melt flows will require different settings as shown below. Barrel and nozzle temperatures may be the same (flat profile) although some molders prefer

to progressively increase temperatures from the hopper to the nozzle. If a hot manifold is being used, the same temperatures would apply.

Run a few “air shots” to check melt quality (no unmelted pellets or excessive smoking). Mold cooling can be left off during the startup to prevent sweating. It is usually not necessary to purge the machine of previous material as polypropylene is commonly used as a purge resin.

Advance the injection unit, engage the nozzle in the sprue bushing and run a few shots while checking for shorts and flashing. If unmelted material is encountered due to inadequate shear from the screw, increase the back pressure starting at 50 psi (0.3 MPa) and increasing incrementally to 300 psi (2 MPa) until satisfactory results are achieved. For best molded part performance, avoid stock temperatures in excess of 500°F (260°C).

Adjust for part quality by use of the injection pressure and time, hold pressure and time, and finally cooling time. As a starting point, 50-75% of maximum machine capacity for both boost and hold pressure is suggested. Weigh a series of complete shots (including runner if appropriate) as the injection hold is increased to determine if the part is fully packed. When two successive shots are found to have the same weight, reduce the injection hold to the last setting. A screw cushion of 1/8 in (3 mm) is highly recommended.

Melt temperatures

The barrel and melt temperatures shown at right are good starting points. Use of preheated hand held melt pyrometers is strongly recommended to check a melt puddle in that barrel temperatures do not always reflect the true temperature of the melt. Most barrel thermocouples measure steel “barrel” temperatures instead of melt temperature.

Flow Characteristics	Melt Temperature Range, °F (°C)
Low flows	475-500 (246-260)
Medium flows	445-475 (228-246)
High flows	400-445 (200-228)
Extra high flows	385-420 (200-215)
Ultra high flows	370-385 (185-190)

Mold temperature

For good surface appearance of the part, mold temperatures between 70 and 120°F (20 and 50°C) are generally used. However, the most suitable mold temperature will be determined by the individual mold, part dimension and molding cycle.

Injection fill (first stage) pressure

The fill pressure should displace 90-95% of the total shot and be the maximum pressure that can be achieved without flashing. The melt temperature employed best determines the maximum pressure to be used. Ideally, the fill pressure should initially be set at 60% of the machine maximum, 2,000 psi (14 MPa). This translates into a hydraulic pressure gauge reading of 1,200 psi (8.3 MPa) or a plastic pressure of 12,000 psi (83 MPa). The melt temperature should not be decreased to the point where excessively high injection pressure must be used.

Injection hold (second stage or pack) pressure

The injection hold pressure determines part shrinkage. It is frequently set lower than the fill pressure. The second stage injection should provide complete packing of the mold and allow the gate to freeze off.

Troubleshooting techniques

Common molding problems

Problem

Possible causes

■ Short shot (parts not filling)

- Insufficient injection fill speed
- Insufficient pack pressure
- Insufficient injection time
- Insufficient shot size
- Unbalanced multiple cavity mold
- Foreign material clogging nozzle and/or gates
- Stock temperature too low
- Runners, gates, or vents too small
- Mold temperature too low
- Undersized barrel heating capacity
- Excessive wear of screw, barrel or check valve

■ Mold flash

- Excessively high injection pressures (fill or pack)
- Material on mold surface
- Low clamping pressure
- Stock temperature too high
- Resin melt viscosity too low
- Shut-off faces of mold mismatched

■ Excessive shrinkage

- Cure time too short
- Pack pressure too low
- Mold or stock temperature too high
- Insufficient injection pressure
- Runners or gates too small
- Poor part design, varying wall thickness

■ Warpage

- Part ejected too hot
- Improperly balanced core and cavity temperatures
- Inadequate or poor location of knockout mechanism
- Overpacking in gate area because of high injection pressure
- Molded-in stresses due to low stock temperature or mold too cold
- Improper part design, nonuniform walls
- Improperly balanced multiple gates
- Flow too long, insufficient gates

■ Sink marks

- Insufficient injection pressure
- Insufficient dwell or hold time
- Melt or mold temperature too high
- Poor part design, non uniform walls and/or excessive wall thickness
- Improper gate location or design

Apèndix E

Full de paràmetres d'injecció

Aquest annex és el full de paràmetres d'injecció utilitzat durant les proves del motlle fins a aconseguir un procés estable. Els valors han estat determinats conjuntament amb un tècnic d'injecció de l'empresa.

FICHA DE PARÁMETROS DE INYECCIÓN

DATOS GENERALES

Molde :		Denominación:	PLACA BASE
Máquina :	JSW 100		
		Comentarios :	HOTACOM PPR 1042
Nº Cavidades :	1		
Nº Camara caliente :	1		

DATOS DE INYECCION

		Límite Presión Inyección (kgf/cm ² / ± 100) bar (± 10)	900							
Perfil velocidad iny.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Velocidad (mm/s) ± 5	20									
Velocidad (%)										
Carrera (mm) ± 3	14									
Perfil 2ª presión	1	2	3	4	5	6	7	8		
Presión (bar) ± 10 ó (kgf/cm ² / ± 10)	500									
Tiempo (s / ± 2)	5									

REAL= 656

DATOS DOSIFICACIÓN

Velocidad rotación	1	2	3	4	5		
Velocidad (rpm / ± 20)	380						
Velocidad (%)							
Contrapresión (bar / ± 5)	24						

Diametro Husillo (Ø)	40 m.m
Carrera dosificacion (mm / ± 3)	112
Succion desp dosif. (mm ± 2)	10

DATOS TEMPERATURAS

Temp. (°C / ± 10)	215	210	210	210	210	205		
Temp masa. (°C / ± 10)	205							
Tª cámara caliente (°C / ± 10)	215	215	215	215	205	205		

CONTROL DE CALIDAD

Tiempo relleno (s / ± 1) :	4,7	Fuerza cierre (TN / ± 20) ó (KN / ± 500)	100 Tn
Tiempo ciclo (s / ± 2)	25"	Pos.cojin (mm /")	5,2
		Tº enfriamiento (s / ± 2)	8

* Ajustar según molde y máquina: pulsadores ± 3; otros ± 5

DATOS COLORANTE

Tiempo dosificación Masterbatch (s) :	
Revoluciones dosificación Masterbatch (rpm) :	

DATOS REFRIGERACIÓN DE MOLDE

Lado de Inyeccion	Periférico	Temp. (°C / ± 5)	Lado de Expulsion	Periférico	Temp. (°C / ± 5)
1 CIRCUITO PUENTEADO	Frigel	20º	1 circuito corredera superior	FRIGEL	20º

ANTES DE LA PUESTA EN MARCHA DEL MOLDE SE DEBE COMPROBAR QUE EL AGUA CIRCULE CORRECTAMENTE

Realizada por :

Fecha: 01-05-19

Apèndix F

Dades tècniques de Kistler

Aquest annex inclou totes les dades tècniques i especificacions necessàries per a l'instal·lació i enteniment dels sensors de pressió juntament amb el amplificador de senyal.

Cavity Pressure Sensor

with Front $\varnothing 1$ mm

Type 6183C...

Miniaturized piezoelectric sensor with single-wire technology for mold cavity pressures up to 2 000 bar in the injection molding of plastics.

- Ideally suited for industrial applications
- Designed without a diaphragm and with a level, machinable front face
- Also available with chromed face for abrasive plastics
- Exchangeable cable
- With venting slot for degassing plastics

Description

The miniaturized sensor for mold cavity pressure Type 6183C... has a 1 mm diameter front face. The very small crosssectional area of the single-wire cable allows flexibility of installation. Shielding in the single-wire technology is provided by the mold. It is therefore essential for the cable and connector to be integrated in the mold.

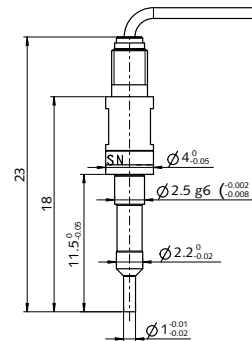
In the uncoated versions, the front face can be machined up to 0,5 mm in order to adapt it to the contour of the mold cavity. For these Types, it is thus possible to mount a keyway-pin which prevents the sensor rotating in the mounting bore.

For multi cavity applications the sensor Type 6183C...G is used without the single-wire connector Type 1839.

The pressure acts over the entire front of the sensor and is transmitted to the measuring element, which produces a proportional electric charge ($pC = \text{Picoloumb}$). This is converted into a voltage 0 ... 10 V in the amplifier and is then available as an amplifier output.

Application

It is mainly suitable for industrial applications for monitoring and open-looped and closed-looped control in thermoplastic injection molding.

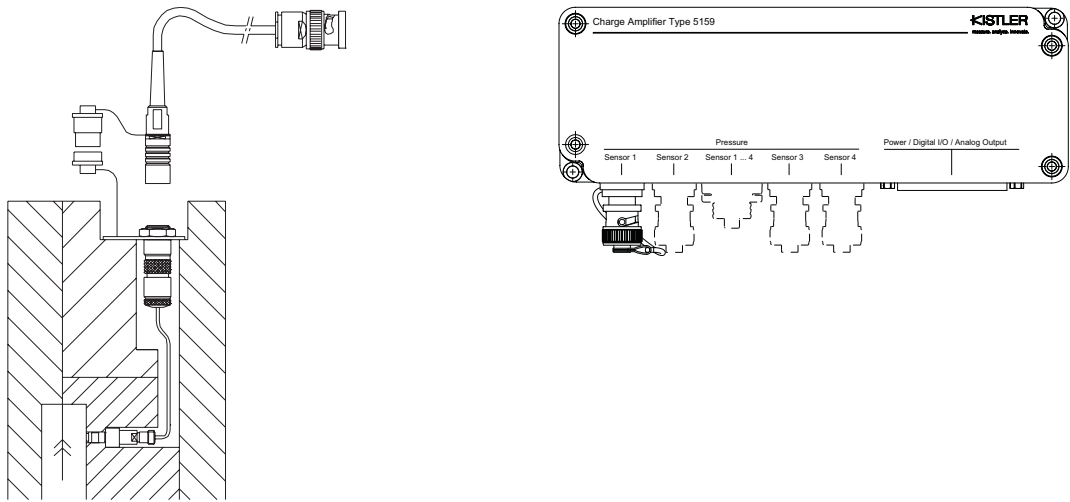


Technical Data

Range	bar	0 ... 2 000
Overload	bar	2 500
Sensitivity	pC/bar	≈ 2,5
Linearity, all ranges	% FSO	≤ ±1
Operating temperature range		
Mold (Sensor, cable, connector)	°C	0 ... 200*
Melt (on sensor front face)	°C	< 450
Insulation resistance		
at 20 °C	TΩ	> 10
at 200 °C	TΩ	> 1

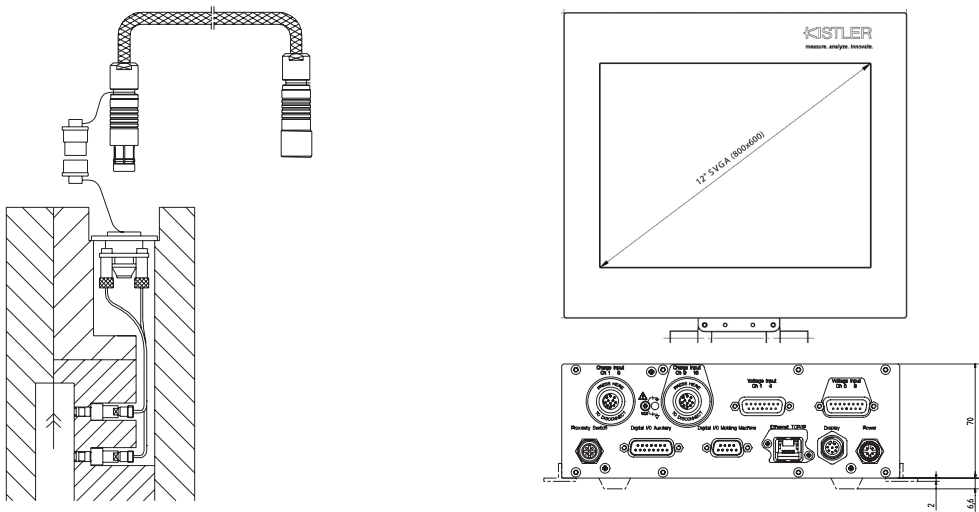
* During machine down-time, the mold temperature may be allowed to rise to 240 °C without damaging the sensor. However, measuring errors may occur

Cable and Amplifier for Measuring Chain with Sensor Type 6183C...



Cable Type 1667B... (BNC connector)
Type 5159A

Fig. 1: Sensor Type 6183C... with Charge Amplifier Type 5159A.



4-channel cable Type 1995A... to connector Type 1708...	8-channel cable Type 1997A... on connector Type 1710...
Type 2869B0xx	Type 2869B2xx
Type 2869B1xx	Type 2869B3xx

Fig. 2: Sensor Type 6183C... with Monitoring System CoMo Injection Type 2869...

Installation Examples

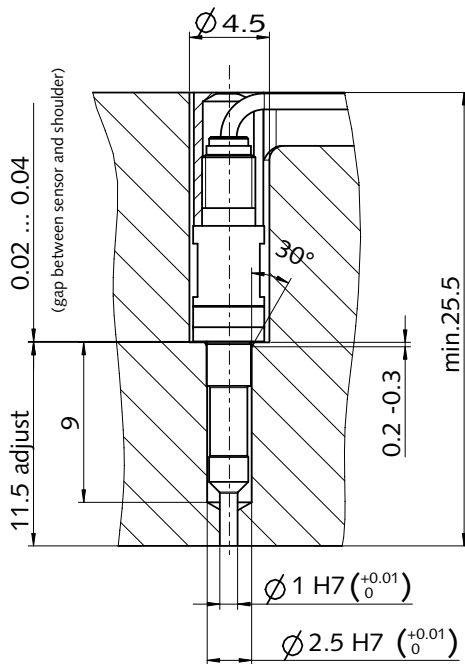


Fig. 3: Installation with spacer sleeve Type 6464A1

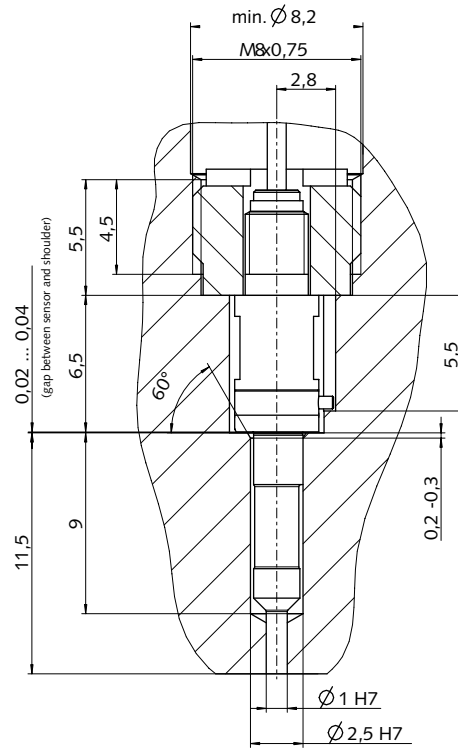


Fig. 4: Optional installation with mounting nut Type 6460A1 and keyway pin Type 65001430

Installation Examples

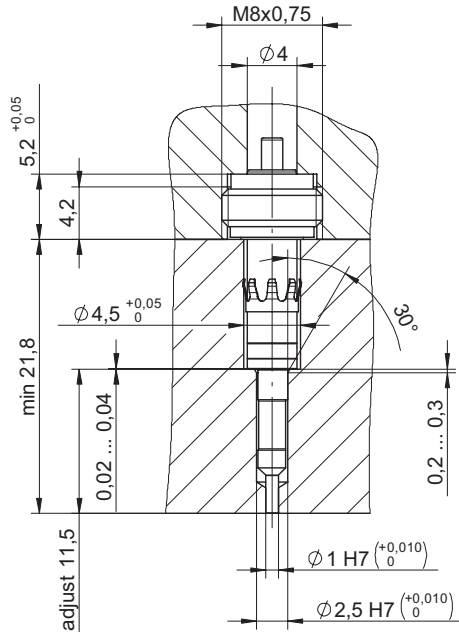


Fig. 5: Installation of the Types 6183C...N... with conducting spacer sleeve

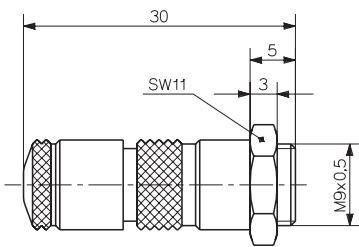


Fig. 7: Connector Type 1839

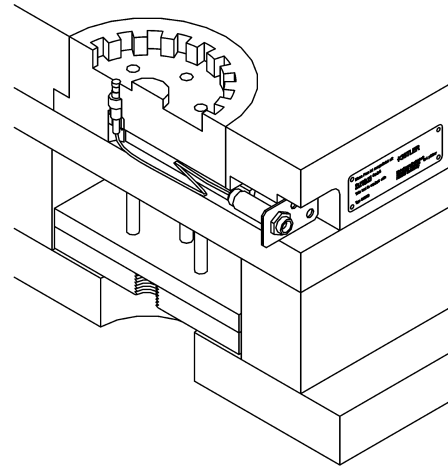


Fig. 6: Sensor, cable, mounting plate and identification plate

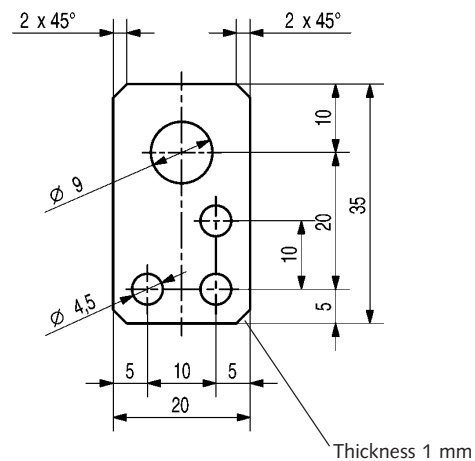


Fig. 8: Mounting plate (Mat. No. 65005208)

6183C_003-109e-08:15

Installation

The sensor is preferably fitted in the mounting bore with the spacer sleeve (Type 6464A1). In case of installation with a keyway pin, however, the mounting nut Type 6460A1 should be used.

The front face of the sensor forms part of the cavity wall. The sensor must therefore be installed in such a way that its front face is exactly flush with the wall.

The single-wire cable must be installed completely in the mold. The connector supplied must be installed with the single-wire cable cut to length. The insulation of the cable must not be stripped prior to insertion into the connector. This connector is fitted in the mounting plate and this secured in a recess in the mold. The identification plate should be fixed nearby, indicating the type of sensor and its sensitivity.

Ordering Key

Sensor

Sensor front uncoated, keyway pin	A
Sensor front chromed	C

Cabel

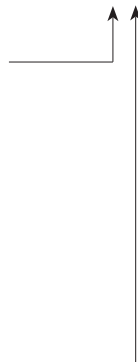
Sensor with single-wire-cable (L = 1,5 m)	E
Sensor with single-wire-cable (L = 5 m)	E1
Sensor with single-wire-cable, without connector (L = 1,5 m)	G
Sensor with single-wire-cable, without connector (L = 5 m)	G1

For contact elements Types 1712A...

and 1714A...

Sensor with single-wire-cable and crimped pin (Mat. Nr. 65003747). Cable with special lengths. Specify L in m. (L _{min} = 0,04 m/L _{max} = 1,5 m)	Zsp
Sensor with conducting spacer sleeve Type 1720A1 and contact element Type 1712A1	NE
Sensor with conducting spacer sleeve Type 1720A1 and contact element Type 1712A1, without connector	NG

Type 6183C□□



Accessories Included

	Mat. No. / Type
• Spacer sleeve (L = 50 mm)	6464A1
• Conducting spacer sleeve (L = 40 mm)	1720A1
• Mounting plate	65005208
• Connector (with cap)	1839
• Checking tool	65000144
• Identification plate	65005416

Optional Accessories

	Mat. No. / Type
• Replacement cable single wire 1,5 m	1900A17L1,5
• Replacement cable single wire 5 m	1900A17L5
• Auxiliary tool to dismount the cable	1300A30
• Fork wrench AF 3,5	5.210.445
• Dummy sensor	6456A
• Extraction tool	1358A
• Mounting nut	6460A1
• Installation tool for mounting nut	1300A131
• Keyway pin	65001430
• 4-channel connector for Type 6183C...G and 6183C...G1	1708...
• 8-channel connector for Type 6183C...G and 6183C...G1	1710...
• Contact elements 1 channel for Type 6183C...Zsp	1712A0
• Contact elements 4 channels for Type 6183C...Zsp	1714A0
• Crimped pin	65003747
• Crimpset with tools	1381A0

ComoNeo

Type 5887A...

System for process monitoring and process optimization in plastic injection molding applications

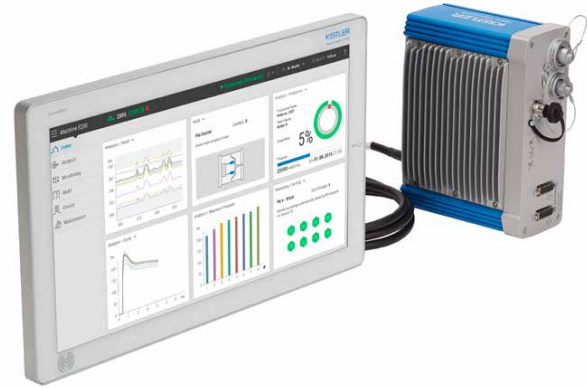
ComoNeo is a process monitoring system made by Kistler that is designed to optimize, monitor and document injection molding processes based on cavity pressure. Apart from processing cavity pressures, the unit also allows for the acquisition and evaluation of contact temperatures from the mold (connection via thermocouple amplifier Type 2205A...) and signals from the injection molding machine (e.g. screw position, machine pressure, etc.).

- The "Dashboard" shows all relevant process data at a glance on a single page
- EO Assistant for creating and defining monitor boxes automatically
- Process-oriented operating concept for easy and efficient control of the unit
- Automatic mold identification for rapid mold replacement and short setup times
- Integrated cycle history (data memory) holds at least 50,000 cycles (equals approximately 5 days of "non-stop" production)
- Automatic calculation of the key process parameters necessary to monitor and evaluate process stability
- Restart assistant: the simple way to transfer established processes from one machine to another
- Automatic Hot Runner Balancing (optional)
- Manual and automatic (optional) control of the switch-over point
- Online-quality prediction as an additional method for separating out scrap
- Multicomponent Injection Molding (optional)
- Composite mold (optional)

Description

ComoNeo has been designed specifically for the requirements of injection molding processes and the needs of operators working in the production environment. Its innovative user interface combined with the capacitive multi-touch display allows the user to control the unit with maximum efficiency and perfect ease of use. Since the hardware of the unit has also been designed with functionality in mind, the connections have been separated into a mold side (connections to the injection mold) and a machine side (connections to the injection molding machine or handling device).

On the mold side, one ComoNeo unit can accommodate up to 32 cavity pressure sensors and up to 16 contact temperature sensors (connection via thermocouple amplifier Type 2205A...).



ComoNeo base unit with optional touch screen display

On the machine side, the unit offers 12 digital inputs and 24 digital outputs. The ComoNeo also makes it possible to record and analyze 4 analog machine signals (screw position, machine pressure, etc.). USB and Ethernet interfaces allow for a smooth exchange of data. Since the user interface is entirely based on Web technology, the visualization and the configuration of the ComoNeo are available on any notebook, PC, tablet, and smartphone sharing the network. Refer to the browsers recommended on this data sheet to ensure the best possible operating convenience (page 2). Up to 128 monitoring functions allow the ComoNeo to ensure reliable scrap separation on the basis of the recorded data. The selection and placement of the monitoring functions can be carried out either manually by the user or automatically by the EO Assistant built into the system. Equipped with four different operating modes, the ComoNeo can be adapted perfectly to the injection molding process. Setup and production mode are used, respectively, to optimize the settings and to activate the sorting of the parts. The unit also offers a production mode which will be activated if, for instance, a production break was detected and the injection molding machine is at a standstill. The ComoNeo is set to standby mode when no measurements are being taken. Aside from tools designed for process monitoring, the ComoNeo offers a host of process analysis and process optimization options. These options draw from an integrated cycle history that stores as a minimum 50 000 cycles. If required for more extensive analyses or for documentation purposes, the ComoNeo can be integrated into the corporate network via its Ethernet interface, making it possible for all measured data and evaluations to be transferred completely to Kistler's database CoMo DataCenter.

The ComoNeo is used in the field of plastic injection molding for:

- Mold trials
- Process analysis and optimization
- Process and production monitoring
- Process and production documentation
- Process control (Control of hot runner and switch over)

Technical data

General

Measuring time	min	≤40
Sampling rate	kHz	16
Bandwidth	kHz	0.3 ... 5
Number of evaluation objects		128
Dimensions excluding display LxWxH	mm	198x77x148
Operating temperature	°C	0 ... 50
Voltage supply	VDC	18 ... 30
Power consumption excluding display	W	≤15
Power consumption including display	W	≤50
Protection class		
(installation mold side top)	IP	53
Voltage between supply points and case	V _{rms}	<40

Mold cavity pressure sensor connections

Number	2x4 / 1x8 / 2x8 / 4x8	
Measuring ranges		
Measuring range 1	pC	±14 ... 200
Measuring range 2	pC	±200 ... 20 000
Drift		
at 25 °C	pC/s	<0.1
at 50 °C	pC/s	<0.5

Thermocouple amplifier Type 2205... connections for cavity wall

Temperature sensors

Number		1x8 / 2x8
Measuring range	V	0 ... ±10
Common-mode voltage range	V	±40
Input impedance	kΩ	100

Voltage inputs for machine signals

Number		1x4
Measuring range	V	0 ... ±10
Common-mode voltage range	V	±40
Input impedance	kΩ	100

Digital inputs (D-Sub 9 pin)

Number		2x2
Type		AC optocoupler
Voltage range	V	0 ... 30
Logical input level high	V	≥10
Logical input level low	V	≤5
Input current at 24 VDC	mA	<5

Digital inputs (D-Sub 15 pin)

Number		2x4
Type		resistance/ Z diode
Voltage range	V	0 ... 30
Logical input level high	V	≥10
Logical input level low	V	≤5
Input impedance	kΩ	≥8

Supported browsers for visualization

Google Chrome (recommended)
Internet Explorer (version 11 or later)

Dimensional drawings ComoNeo

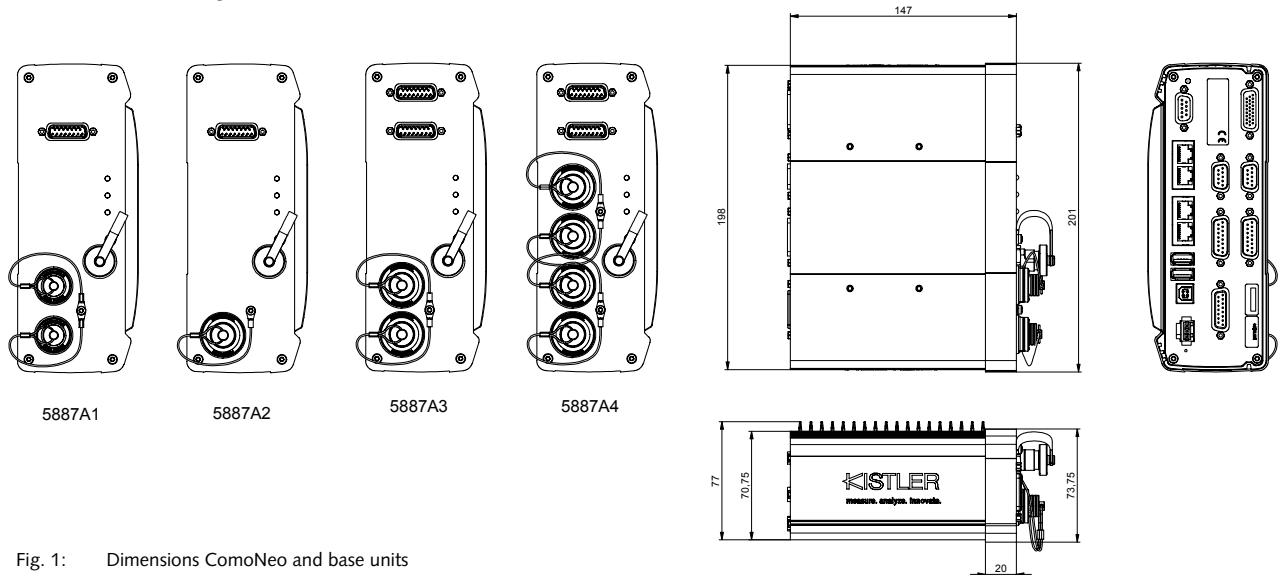


Fig. 1: Dimensions ComoNeo and base units

Dimensional drawings mounting plate

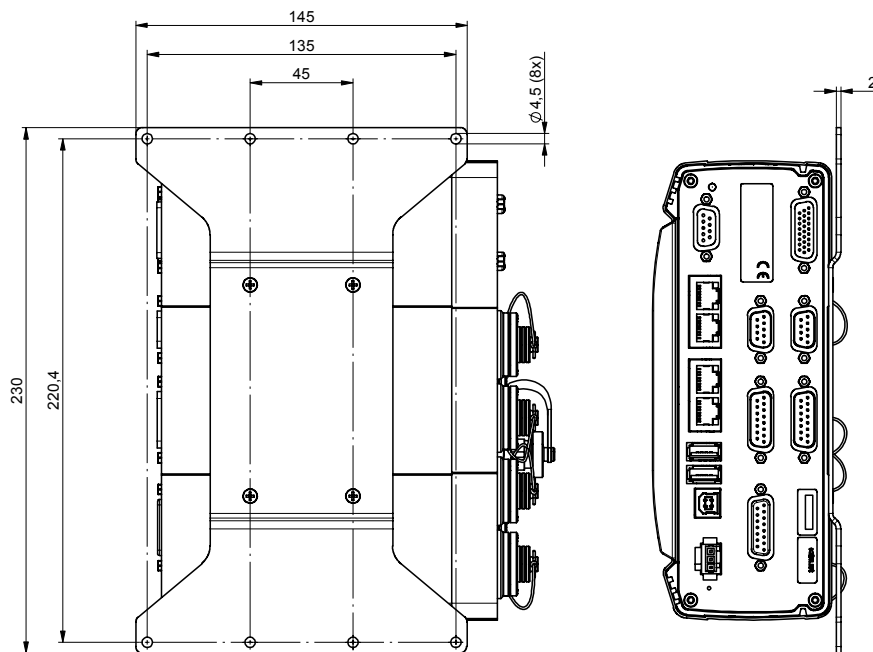


Fig. 2: Dimensions ComoNeo mounting plate 7.511.368

5887A_003-231e-11.18

Dimensions drawings touch display

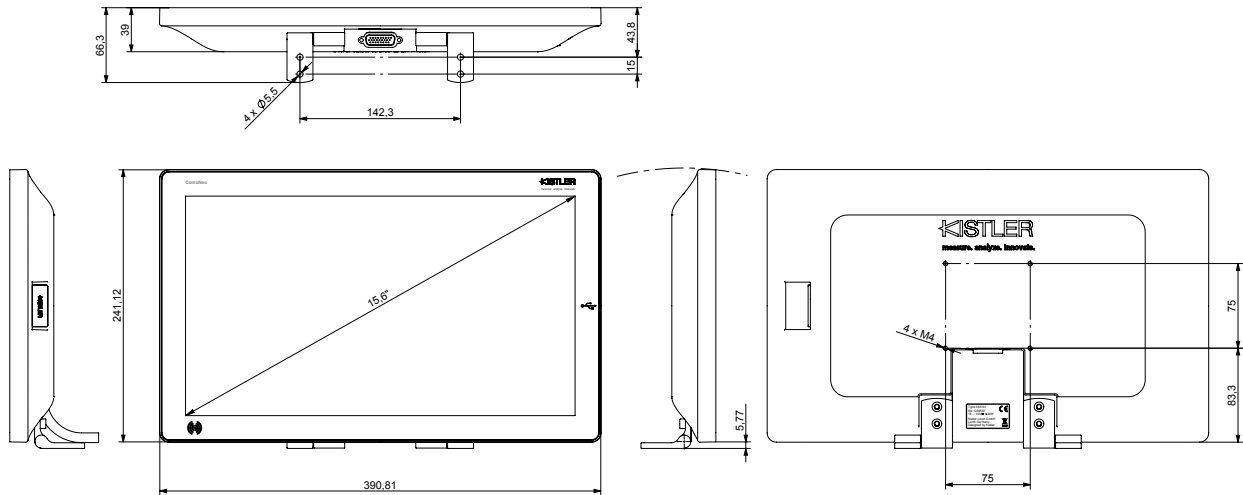


Fig. 3: Dimensions ComoNeo 15.6" touch display

5887A_003-231e-11.18

Connections - mold side

Cavity pressure sensors, 4-channel

Pin allocation	Function	PIN
Charge input	Channel 1	1
X20: Channel 1 ... 4	Channel 2	2
X21: Channel 5 ... 8	Channel 3	3
	Channel 4	4
	GND	5
	1-WIRE	6

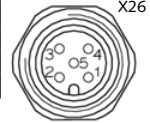
Type: Fischer 103 A056
male 4-channel



Inductive proximity switch

Pin allocation	Function	PIN
Proximity switch	24 VDC	1
	Factory Reset A	2
	Trigger	3
	Factory Reset B	4
	EGND	5

Type: M12,
5 pin female



Cavity pressure sensors, 8-channel

Pin allocation	Function	PIN
Charge input	Channel 1	1
X20: Channel 1 ... 8	Channel 2	2
X21: Channel 9 ... 16	Channel 3	3
X22: Channel 17 ... 24	Channel 4	4
X23: Channel 25 ... 32	Channel 5	5
	Channel 6	6
	Channel 7	7
	Channel 8	8
	vacant	9
	1-WIRE	10
	GND	11

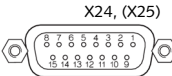
Type: Fischer 104
male 8-channel



Voltage Input, Thermocouple Amplifiers, 8-channel

Pin allocation	Function	PIN
Voltage input	Channel 1	1
X24: Channel 1 ... 8	Channel 2	2
X25: Channel 9 ... 16	Channel 3	3
	Channel 4	4
	Channel 5	5
	Channel 6	6
	Channel 7	7
	Channel 8	8
	24 VDC	9
	Dig. Output DO 1	10
	Dig. Output DO 2	11
	Reference point DO x	12
	1-WIRE	13
	AGND (channel x, 1-WIRE)	14
	EGND (24 V VDC)	15

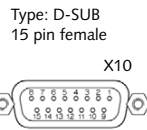
Type: D-SUB
15 pin female



Connectors - machine side

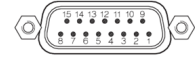
Voltage inputs for 4 machine signals

Pin allocation	Function	PIN
Voltage input	Channel 1 +	1
X10: Channel 1 ... 4	Channel 1 –	2
	Channel 2 +	3
	Channel 2 –	4
	Channel 3 +	5
	Channel 3 –	6
	Channel 4 +	7
	Channel 4 –	8
	24 VDC	9
	Analog outp. AO 1	10
	AGND (channel x, AO x)	11
	vacant	12
	1-WIRE	13
	GND (1-WIRE)	14
	EGND (24 V VDC)	15



Digital inputs and outputs

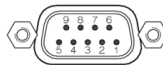
Type: D-SUB
15 pin male X11, X14



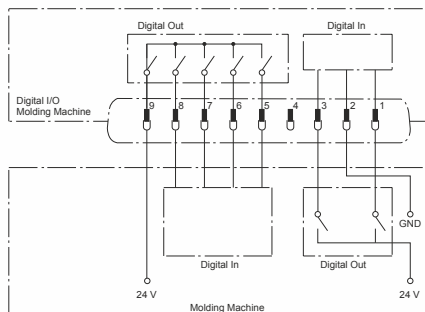
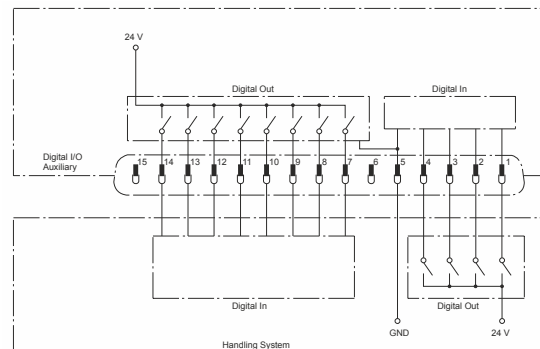
Pin allocation	Function		PIN
Digital I/O	DI 1	Reserve1_in	1
X11: Auxiliary 1	DI 2	Reserve2_in	2
X14: Auxiliary 2	DI 3	Reserve3_in	3
	DI 4	Reserve4_in	4
	DGND_DIx_DOx		5
	vacant		6
	DO 1	EO-Result1_out	7
	DO 2	EO-Result2_out	8
	DO 3	EO-Result3_out	9
	DO 4	EO-Result4_out	10
	DO 5	EO-Result5_out	11
	DO 6	EO-Result6_out	12
	DO 7	EO-Result7_out	13
	DO 8	EO-Result8_out	14
	vacant		15

Digital inputs and outputs

Type: D-SUB
9 pin male X12, X15



Pin allocation	Function		PIN
Digital I/O	DI 1	Cycle start_in	1
X12: IMM 1	DGND_DIx		2
X15: IMM 2	DI 2	Universal_in	3
	24 VDC		4
	DO 1	Device ready	5
	DO 2	RT Thresholds	6
	DO 3	EO "Sorting"	7
	DO 4	Alarm	8
	Reference point DO_x		9



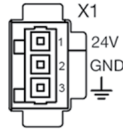
5887A_003-231e-11.18



- Damage might be caused due to wrong wiring!

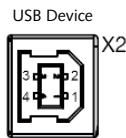
Operating voltage input

Pin allocation	Function	PIN
Operating voltage	24 VDC	1
	EGND	2
	Shielding (housing)	3



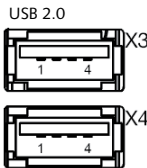
USB device

Pin Allocation	Function	PIN
USB Device	5 V	1
	D–	2
	D+	3
	GND	4



USB 2.0 Master X3, X4

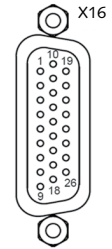
Pin Allocation	Function	PIN
USB 2.0 Master	5 V	1
	D–	2
	D+	3
	GND	4



Display connection X16

Pin Allocation	Function	PIN
Display connection	LVDS 2P	1
	LVDS 2N	2
	LVDS CLK P	3
	LVDS CLK N	4
	BLEN	5
	5VB	6
	GND	7
	GND	8
	E24V	9
	LVDS 1P	10
	LVDS 1N	11
	LVDS 3P	12
	LVDS 3N	13
	PWREN	14
	5VB	15
	5VA	16
	GND	17
	N.C.	18
	LVDS 0P	19
	LVDS 0N	20
	USB P	21
	USB N	22
	PWM	23
	5VA	24
	GND	25
	EGND	26

Type: HD-SUB 26



Ethernet 10/100 (TCP/IP, PC level) X5, X6

Pin Allocation	Function	PIN
Ethernet 10/100 RJ45	RX+	1
	RX–	2
	TX+	3
	5	4
	4	5
	TX–	6
	8	7
	7	8

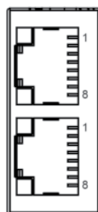
Type: 2x RJ45



Ethernet 10/100 (field bus slave) X7, X8 (without function)

Pin Allocation	Function	PIN
Ethernet 10/100 RJ45	RX+	1
	RX–	2
	TX+	3
	5	4
	4	5
	TX–	6
	8	7
	7	8

Type: 2x RJ45



5887A_003-231e-11.18

Included accessories

- Power adapter 100 ... 240 VAC/24 VDC
- Ethernet cable, crossed RJ45, length: 5 m
- Mounting plate
- Case feet, self-adhesive, black
- Data carrier: ComoNeo, maXYmos, NCFx software and documentation

Type/Art. No.

5781A5
1200A49

4-channel extension cable to 4-channel connector

Type 1708B... at mold

- Length l = 1 m 1995A1
- Length l = 2 m 1995A2
- Length l = 5 m 1995A5
- Length to customer order 1995Asp
(L_{min} = 1 m/L_{max} = 20 m)

ComoNeo software activations codes

(Unlock code for subsequent activation of the software)

- ComoNeoMULTIFLOW 2809A3
- Automatic Hot Runner Balancing
- ComoNeo SWITCH 2834A2
- Activation for automatic Switch-Over detection (SLP)
- ComoNeoMERGE 2834A3
- Multicomponent injection molding
- ComoNeoCOMPOSITE 2834A5
- Composite mold
- ComoNeoPREDICT 2824A1
- Online Quality prediction
(in combination with StasaQC software – part of delivery)
- Connection to the ComoDataCenter 2829D01

Additional ComoNeo accessories

- CoMo DataCenter 2829D...
(database software for documentation and detailed analysis)
- Hardware adaptor: Ethernet to RS-232 or RS-485 (for Multiflow) 2808A2

Connecting cable digital signals injection molding machine/
handling D-Sub 15 pin

- Length l = 7 m 1500B42A7
- Length to customer order 1500B42Asp
(L_{min} = 1 m/L_{max} = 15 m)

Connecting cable analog signals injection molding machine/
handling D-Sub 15 pin

- Length l = 7 m 1500B47A7
- Length to customer order 1500B47Asp
(L_{min} = 1 m/L_{max} = 15 m)

ComoNeo standard accessories

ComoNeo display for optimum visualization

- 15.6" capacitive multi-touch display 5637A1
- Connecting cable display (l = 2.5 m) 1200A217A2.5
- Connecting cable (l = 5 m) 1200A217A5

- Thermocouple amplifier for 2 ... 4 2205A...
Temperature sensors type K, J, N

Connecting cable digital signals injection molding machine/
Handling D-Sub 9 pin

- Length l = 7 m 1500B43A7
- Length to customer order 1500B43Asp
(L_{min} = 1 m/L_{max} = 15 m)

4-channel extension cable to thermocouple amplifier

Type 2205A... at mold

- Length l = 2 m 1491A1A2
- Length l = 5 m 1491A1A5
- Length to customer order 1491A1Asp
(L_{min} = 0.3 m/L_{max} = 20 m)

8-channel extension cable to 8-channel connector

Type 1710B... at mold

- Length l = 1 m 1997A1
- Length l = 2 m 1997A2
- Length l = 5 m 1997A5
- Length to customer order 1997Asp
(L_{min} = 1 m/L_{max} = 20 m)

8-channel Y extension cable to two thermocouple amplifiers

2205A... at mold

- Length l = 2 m 1491A2A2
- Length l = 5 m 1491A2A5
- Inductive proximity switch 2231A1
including connecting cable, length l = 5 m

5887A_003-231e-11.18

Other ComoNeo accessories (continued)

Adapter boxes and additional cables

- Adapter box 4-channel connector ComoNeo/BNC 5415A1
- Adapter box 8-channel connector ComoNeo/BNC 5415A2
- Adapter box 8-channel connector ComoNeo/2x4-channel connector at mold 5415A3
- Adapter box 4-channel connector ComoNeo/8-channel connector at mold 5415A4

1-channel extension cable to single connector at mold

- Length l = 2 m 1991A2
- Length l = 5 m 1991A5
- Length to customer order 1991Asp
(L_{min} = 1 m/L_{max} = 20 m)

Ordering key ComoNeo

Base unit

ComoNeo for 8 (2x4) cavity pressure sensors and 8 (temperatur-) Sensors via volt input	1
ComoNeo for 8 (1x8) cavity pressure sensors and 8 (temperatur-) Sensors via volt input	2
ComoNeo for 16 (2x8) cavity pressure sensors and 16 (temperatur-) sensors via volt input	3
ComoNeo for 32 (4x8) cavity pressure sensors and 16 (temperatur-) sensors via volt input	4

Type 5887A ☐

Apèndix G

Valors de les gràfiques Kistler

En aquest annex s'inclou el resum de taules que han generat els gràfics del nostre apartat de resultats. Aquests són únicament el recull de les dades que hem trobat més oportunes i diferents que ensenyen molt bé gràficament els problemes de peça llarga, curta i rebava.

PROCÉS ESTABILITZAT

Temps (s)	Pressió procés estabilitzat (bar)
0	0,00
1	6,59
2	13,18
3	79,10
4	132,84
5	331,21
6	462,00
7	593,60
8	705,34
9	725,23
10	705,34
11	672,49
12	626,82
13	594,29
14	553,73
15	514,18
16	461,78
17	395,52
18	263,76
19	132,26
20	66,00
21	46,14
22	33,98
23	19,78
24	0,00

Pressió mitjana **325,406664**

PEÇA CURTA

Temps (s)	Pressió procés estabilitzat (bar)	Pressió PEÇA CURTA 1 (bar)
0	0,00	0,00
1	6,59	4,27
2	13,18	16,88
3	79,10	87,86
4	132,84	123,60
5	331,21	278,10
6	462,00	412,00
7	593,60	507,79
8	705,34	587,10
9	725,23	618,00
10	705,34	604,61
11	672,49	587,10
12	626,82	562,50
13	594,29	515,00
14	553,73	490,28
15	514,18	458,35
16	461,78	435,69
17	395,52	379,04
18	263,76	228,66
19	132,26	110,90
20	66,00	59,64
21	46,14	37,08
22	33,98	28,82
23	19,78	12,46
24	0,00	0,00

PEÇA LLARGA

Temps (s)	Pressió procés estabilitzat (bar)	Pressió PEÇA LLARGA (bar)
0	0,00	0,00
1	6,59	8,03
2	13,18	15,45
3	79,10	84,38
4	132,84	150,36
5	331,21	362,46
6	462,00	527,15
7	593,60	753,75
8	705,34	833,99
9	725,23	742,53
10	705,34	711,52
11	672,49	705,55
12	626,82	627,06
13	594,29	605,33
14	553,73	557,13
15	514,18	526,64
16	461,78	473,70
17	395,52	410,61
18	263,76	288,19
19	132,26	158,28
20	66,00	78,96
21	46,14	42,13
22	33,98	29,64
23	19,78	19,78
24	0,00	0,00

PEÇA DEFORMADA

Temps (s)	Pressió procés estabilitzat (bar)	Pressió PEÇA DEFORMADA (bar)
0	0,00	0,00
1	6,59	7,11
2	13,18	12,92
3	79,10	82,84
4	132,84	134,91
5	331,21	309,00
6	462,00	492,34
7	593,60	632,01
8	705,34	721,00
9	725,23	742,63
10	705,34	718,94
11	672,49	672,59
12	626,82	653,02
13	594,29	621,09
14	553,73	595,34
15	514,18	561,35
16	461,78	503,67
17	395,52	466,59
18	263,76	378,01
19	132,26	226,60
20	66,00	157,59
21	46,14	103,35
22	33,98	97,64
23	19,78	75,71
24	0,00	50,47

Bibliografia

- [1] Wikipedia, “Plastic, wikipedia,” 2018. [Consulta: 05-07-2018]. Disponible a: <https://ca.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A0stic>.
- [2] C. E. de plàstics, “Centro español de plásticos,” 2013. [Consulta: 07-09-2018]. Disponible a: <https://cep-plasticos.com/es>.
- [3] Mariano, “Tecnologia dels plàstics,” 2014. [Consulta: 10-07-2018]. Disponible a: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com>.
- [4] A. B. Marketing, “Tecnologia del plástico,” 2001. [Consulta: 10-07-2018]. Disponible a: <http://www.plastico.com>.
- [5] PlasticsEurope, “Plasticseurope.” [Consulta: 01-09-2018]. Disponible a: <https://www.plasticseurope.org/en>.
- [6] F. Johannaber, *Injection Molding Machines: A User's Guide*. 1985.
- [7] A. Beltrán, Maribel i Marcilla, *Tecnología de polímeros*. Gener 2012.
- [8] J. M. Naya. [Consulta: 03-12-2018]. Disponible a: <https://www.juliomartineznaya.com/resistencias-electricas-para-maquinas-de-inyeccion/>.
- [9] H. Abril, “Intempresas,” 2019. [Consulta: 10-11-2018]. Disponible a: <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/159596-El-mecanismo-del-husillo.html>.
- [10] J.M.C, “La máquina de inyección.” [Consulta: 18-11-2018]. Disponible a: <http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/sub-paginas/Moldes/INYECTORA.htm>.
- [11] F. Vilageliu, 2019. Tècnic en motlles d'injecció [Comunicació privada].
- [12] OVDesigns, “Injection molding,” 2018. [Consulta: 13-01-2019]. Disponible a: <http://www.ovdesigns.nl/applications.html>.

- [13] Makero, “Makero,” 2016. [Consulta: 11-03-2019]. Disponible a: <http://makerocolombia.blogspot.com/2016/04/disenio-de-refrigeracion-en-moldes-de.html>.
- [14] J. Williams, “¿de qué depende el tiempo de enfriamiento en moldeo por inyección?,” 2018. [Consulta: 03-01-2019]. Disponible a: <http://www.plastico.com/temas/De-que-depende-el-tiempo-de-enfriamiento-en-moldeo-por-inyeccion+124282>.
- [15] Kistler, “Kistler.” [Consulta: 01-12-21018]. Disponible a: <https://www.kistler.com>.
- [16] L. F. P. M. Co, “Feiya,” 2017. [Consulta: 01-11-2018]. Disponible a: <http://www.feiyamold.com/What-are-Advantages-of-Using-Plastic-Injection-Molding-for-the-Manufacturing-of-Parts-id592168.html>.
- [17] W. group, “Wittmann group.” [Consulta: 05-09-2018]. Disponible a: https://www.wittmann-group.com/en_us/automation/cnc-robots/compact-series.html.
- [18] D. industry, “Direct industry,” 2016. [Consulta: 15-11-2018]. Disponible a: <http://www.directindustry.de/>.
- [19] A. Vásquez, “¿por qué implementar o no una colada caliente?,” 2018. [Consulta: 08-12-2018]. Disponible a: <http://www.plastico.com/temas/Por-que-implementar-o-no-una-colada-caliente+126617?tema=3610000&pagina=1>.
- [20] K. T. y Harald Schmidt, “¿por qué usar sistemas de canal caliente para producción de plásticos de alta calidad?,” 2011. [Consulta: 08-12-2018]. Disponible a: <http://www.plastico.com/temas/Por-que-usar-sistemas-de-canal-caliente-para-produccion-de-plasticos-de-alta-calidad+3082437>.
- [21] M. N. O. Leyva, “Colada caliente, ¿qué puede hacer por su proceso productivo?,” 2009. [Consulta: 23-12-2018]. Disponible a: https://www.google.com/search?q=colada+caliente&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiA4-HQop7hAhVS20AKHe1ZB_EQ_AUIDigB&biw=1422&bih=1057&dpr=0.9#imgrc=NBwocI_wt74lIM:.
- [22] Autodesk, “Autodesk,” 2019. [Consulta: 02-02-2019]. Disponible a: <https://www.autodesk.es/>.
- [23] P. C. Bolur, “Pitfalls in injection moulding of plastics.” [Consulta: 07-12-2018]. Disponible a: <https://www.pitfallsinmolding.com/cycletime.html>.
- [24] Mariano, “Tecnologia dels plàstics,” 2014. [Consulta: 10-09-2018]., Disponible a: <https://tecnologiaisostenibilitat.cus.upc.edu/continguts/materials/4.-materials-polimers>.

- [25] Blogdiario, “Blogdiario, enlaces químicos y el estado sólido (cristalino),” 2017. [Consulta: 03-11-2018]. Disponible a: <http://enlacesquimicos2596.blogspot.es/1510382756/2-17-estructura-amorfa/>.
- [26] ASTM, “Standard test method for melt flow rates of thermoplastics by extrusion plastometer.” [Consulta: 01-10-2018]. Disponible a: http://mahshahr.aut.ac.ir/lib/exe/fetch.php?media=labs:astm_d1238.pdf.
- [27] Prospector, “Prospector,” 1998. [Consulta: 07-12-2018]. Disponible a: <https://materials.ulprospector.com/es/>.
- [28] I. your injection Molding, “Troubleshooting short shots in injection molding increases production performance,” 2012. [Consulta: 03-02-2019]. Disponible a: <https://www.improve-your-injection-molding.com/troubleshooting-short-shots.html>.
- [29] P. C. Bolur, “Pitfalls in injection moulding of plastics.” [Consulta: 02-02-2019]. Disponible a: <https://www.pitfallsinmolding.com/processguide.html>.
- [30] P. L. Eiroá, “Inyección eficiente de plásticos,” 2013. [Consulta: 23-12-2018]. Disponible a: <http://inyeccion-eficiente-de-plasticos.blogspot.com/2013/01/defectos-en-piezas-inyectadas-y-su.html>.
- [31] G. Wang, *Piezoelectric Energy Harvesting*. Juliol 2010.
- [32] S. Roundy, P. Kenneth Wright, and J. Rabaey, *Energy Scavenging For Wireless Sensor Networks With Special Focus On Vibrations*. Gener 2004.
- [33] M. Specialities, “Manual tècnic de les làmines piezoelèctriques [en línia],” 2019. [Consulta: 5-10-2018]. Disponible a: <http://www.meas-spec.com/myMSI/download/pdf/english/piezo/techman.pdf>.
- [34] R. Solé, 2019. Especialista en sistemes Kistler [Comunicació privada].
- [35] C. support, “Cfd support.” [Consulta: 10-01-2019]. Disponible a: <https://www.cfdsupport.com/OpenFOAM-Training-by-CFD-Support/node334.html>.
- [36] Adalmo, “Com saber si un residu és perillós.” [Consulta: 13-04-2019]. Disponible a: <https://catala.adalmo.es/noticias/como-saber-si-un-residuo-es-peligroso/>.